

## 第一章

# 工业革命——从工业 1.0 到工业 4.0

## 章前案例 工业 4.0 背景下的变革——格创东智

格创东智科技有限公司于 2018 年由 TCL 投资创立，是我国工业互联网标杆企业，被工信部遴选认证为“2022 年跨行业跨领域工业互联网平台”。公司业务围绕智能终端、半导体显示、新能源与半导体材料三大核心产业，基于平台及软件技术“对内赋能、对外输出”，即对内支撑 TCL 集团建设成为世界级的数字化企业集团，对外把数字化能力在内部反复迭代后向不同行业、不同规模的企业进行复制推广，由点带面推动中国制造业转型升级。

帮助格创东智实现“对内赋能、对外输出”的，是由“3+1+N”架构体系组成的东智工业应用智能平台。“3”指东智物联网平台、东智大数据平台、东智 AI（人工智能）平台，是通用、基础、标准的底层能力；“1”指东智应用赋能平台，包括开发基座和业务能力组件；“N”代表多样化的工业应用，包括自主研发工业应用和生态合作伙伴供给的工业应用。通过这一架构体系，目前格创东智已经横向赋能 20 多个行业。例如，为 TCL 华星光电打造的人工智能缺陷自动分类识别系统 ADC，帮助 TCL 华星光电替代了 50% 以上的人力，实现每年超千万元的经济效益；自主研发适用于泛半导体行业工业软件近 100 套，并将先进制造业平台及工业软件推广到中车半导体、华虹华力等近 20 家芯片制造厂；在远程设备运维场景中，利用“5G+AR”技术，解决了设备专家远程指导问题，并将其应用推广到其他行业。

由这一案例可知，工业 4.0 对传统制造业及服务业产生了变革性的影响。本章将从工业 4.0 的定义出发，介绍工业 4.0 的经济潜力、实施所需的条件，以及在此过程中可能遇到的挑战与机遇。

## 第一节 工业 4.0 的前世今生

### 一、第一次工业革命：蒸汽时代

从演进的角度来看，工业 4.0 的发展始于 18 世纪和 19 世纪之交，从手

工制造生产过渡到机械化工厂生产，这是第一次工业革命（工业革命 1.0）。来自格拉斯哥的苏格兰工程师和发明家詹姆斯·瓦特（James Watt）是早期的改革先驱，1763 年冬天瓦特收到了一份利润丰厚但难以完成的订单——改良一款英国首批蒸汽泵（Pottin 和 Dietz, 2018）。这项任务成了瓦特的一种“执念”，随后的几年里他一直专心于完成这项任务。后来，瓦特得到了一位水管工的热心帮助，他的参与促成了设备中央驱动装置——蒸汽机的发明。瓦特发明的蒸汽机是对托马斯·纽科门（Thomas Newcomen）<sup>①</sup> 常压蒸汽机的改良，被视为工业技术的一次突破，宣告了第一次工业革命的到来。1769 年，为了表彰瓦特的成就，英国国王授予了他人生中的第一项专利。

第一次工业革命始于 1760 年前后，结束于 1840 年前后，是世界经济史的重要组成部分，为未来世界经济的发展铺平了道路。第一次工业革命开启了机械化时代，推动了主要用于能源生产的大量创新技术发明的应用。这些革新也彻底改变了人们对工作场所和工作方法的想法。在机械化的背景下，工厂生产同样的东西比以前快了八倍。因此，在世界历史上，人类“昂贵”的工作首次被廉价煤炭驱动的蒸汽机取代。从经济角度来看，这种替代带来早期生产成本的降低，工作效率几乎呈指数增长，利润也大幅提升。在采矿业和纺织业中，蒸汽机应用带来的工作自动化是生产史上最大的突破。此后，人类在 19 世纪初所取得的发明进一步提高了自动化水平，主要包括詹姆斯·尼尔森（James Neilson）<sup>②</sup> 的“热风法治铁术”和乔治·史蒂芬森（George Stephenson）<sup>③</sup> 的“蒸汽机车”。“热风法治铁术”大大降低了冶金炉的燃料成本，“蒸汽机车”则缩短了货物运输的时间。因此，19 世纪初的文明

---

① 托马斯·纽科门（1664—1729 年），英国机械师，通常被认为是活塞式蒸汽机的发明者。纽科门在约翰·卡利（John Calley）的帮助下，在英格兰中部达德利城堡附近的科内格里煤矿建造了蒸汽机。根据保存的档案数据，这台机器高 17 米，每分钟连续运行 12 个工作周期，功率超过 5 马力，通常用于矿井排水。

② 詹姆斯·尼尔森（1792—1865 年），英国冶金学家和发明家，1828 年为热风法（蓄热式加热）冶铁工艺申请了专利。

③ 乔治·史蒂芬森（1871—1848 年），英国工程师和发明家，通常被认为是“英国蒸汽机车之父”。早在 1814 年，史蒂芬森就设计了第一台名为 Blücher 的蒸汽机车，它能够以 6 千米/小时的速度在轨道上牵引 30 吨煤炭。第二台名为 Locomotion 的蒸汽机车建造于 1825 年，它能够牵引 80 吨煤炭，且速度高达 39 千米/小时。

发展变得更加活跃。值得强调的是，在很大程度上，这是天才工程师、化学家、物理学家和技术专家共同努力的结果，而不是偶然所得或上天的礼物。

## 二、第二次工业革命：电气时代

1936年，法国社会学家和心理学家乔治·弗里德曼（Georges Friedmann）再次使用“工业革命”一词来描述19世纪上半叶，在生产线上、劳动分工以及人类和整个社会的发展助推下，大规模工厂化生产为欧美带来的变化。<sup>①</sup>学界普遍认为，第二次工业革命（工业革命2.0）发生在1870年到1914年之间。这意味着在第一次工业革命开始一百年后，世界和人类不得不面对又一次工业革命，只不过这一次升级更大、挑战更多。第二次工业革命时期的最大创新与两种新能源有直接的关联：电力（电动机）和石油天然气（内燃机），它们深刻影响了当时工业的发展动态。在这两种新能源的助推下，工业世界见证了从传统生产方法到基于新技术的创新型生产方法的转变，而这改变了大多数英美工厂早期的制造和加工工艺。不过，从技术和创新的角度来看，这些重大变化不仅发生在工业领域，也出现在通信和运输领域。通信方面，电报<sup>②</sup>最初对人类和世界的发展发挥了相当大的作用，它让人们实现了远程通信。其次是电话<sup>③</sup>——智能手机的先辈，现在被认为是当代通信系统的基础。运输方面，美国航空先驱莱特兄弟<sup>④</sup>的发明开创了新的时代，而后改变了世界历史进程。正是由于他们的天赋才能，飞机得以成

---

① 如需更多信息，请参阅Friedmann, G. (1936). *La Crise du progrès: esquisse d'histoire des idées, 1895—1935*. Paris: Gallimard.

② 电报是萨缪尔·摩斯（Samuel Morse）在19世纪上半叶所发明。1844年5月24日，摩斯编写的电码从华盛顿成功被发送到巴尔的摩，成为历史上的首条电报信息。此外，摩斯还被认为是大理石切割机的发明者，该机器可雕刻三维形状。

③ 亚历山大·贝尔（Alexander Bell）被普遍认为是电话的发明者，因为他是第一个申请电话发明专利的人。不过，安东尼奥·梅乌齐（Antonio Meucci）开发出了语音通信设备，制造出了事实上的电话原型。而他并没有足够的资金支付专利费用，从而将电话发明者的殊荣拱手让给了贝尔。关于电话发明者的讨论和争议一直延续至今。

④ 威尔伯·莱特（Wilbur Wright）和奥威尔·莱特（Orville Wright）兄弟被认为是第一架飞机的设计者。1903年12月14日，奥威尔·莱特首次驾驶一架完全受控的飞机，飞行距离为279米。

为一种新的交通工具，地理距离不再是人们出行的阻碍。此外，他们提出的航空力学和转向原理至今仍然是飞机设计的标准。美国实业家亨利·福特（Henry Ford）也对当时的交通发展做出了宝贵的贡献。1896 年福特制造了第一辆原型车，标志着汽车行业发展的开始，也永远改变了人们对交通、距离和时间的看法。从工作组织的角度来看，福特将流水生产线引入自己创办的工厂，完成了一场真正的革新，同时他还彻底改变了生产车间的布局，采用了轮班工作制，树立了成本利润意识和职业安全观念。

与第一次工业革命不同，第二次工业革命具有相当程度的科技基础作支撑，有利于更好、更有效地使用工艺，并且充分发挥技术的有效性（Mokyr 和 Strotz, 2000）。此外，第二次工业革命还改变了世界对生产组织的看法，主要是因为工业效率的迅猛提升和规模经济效应的出现。人们的生活水平也在逐步提高，尽管不是十分显著。此外，当时西方工业化国家仍然占据着技术领先地位（Mokyr 和 Strotz, 2000）。

### 三、第三次工业革命：信息时代

我们可以提出这样一种观点：第一次工业革命为第二次工业革命的发展奠定了基础，而第二次工业革命——特别是在熟练使用知识和技术方面为第三次工业革命（工业革命 3.0）的发展夯实了基础。学界通常认为第三次工业革命是从 1969 年持续到 2000 年。为了分析的清晰性，我们可以将这一时期分为两个子阶段，1969 年到 1989 年为第一阶段，1990 年到 2000 年为第二阶段。第一阶段的标志是首批 PLC 可编程逻辑控制器<sup>①</sup>的引入和使用，它们实际上属于微处理器设备，主要用于控制机器或其他技术设备，包括个人电脑和生产线。正是 PLC 可编程逻辑控制器的应用，1987 年计算机得以开始与第一批专业办公应用程序“合作”，从而不可逆转地革新了组织管理方法。第二阶段涵盖了互联网的动态发展和工作的数字化发展时期，个人和整个社会开启了新的生活和工作模式。工业革命 3.0 创造了数以百万计的全新工作场所，并为基于可再生能源的 21 世纪全球经济的可持续发展铺平了道

---

① 英文全称为 Programmable Logic Controller。

路。因此，在 Rifkin（2012）看来，第三次工业革命的整个“战略”基于以下五个不可分割、相互关联的支柱。

第一，转向可再生能源。<sup>①</sup>

第二，将各大洲的现有建筑改造成微型发电厂，以便收集分散的可再生能源。

第三，实施间歇性储能技术。

第四，利用信息技术（IT）和在线技术将电力传输和电线转化为能源互联网。

第五，整个运输车队转向电力驱动，可通过智能化、跨大陆<sup>②</sup>和交互化的能源网购买和销售这类“燃料”。

应该指出的是，第三次工业革命是围绕可再生能源展开的，这些能源相当分散，如果可利用大陆“绿色”电网逐步收集并实现“计算机化”，将有望实现 21 世纪经济体的可持续发展。

## 四、第四次工业革命：智能时代

目前经济发展和相关质变的进程十分迅猛，以至于在 21 世纪初人们几乎未能察觉到向下一次工业革命——第四次工业革命（工业革命 4.0）的过渡时刻。想要更好地理解当前的变化速度，我们可以看一下在过去短短的 50 年中，人类已然经历了第三次、第四次工业革命，而向前追溯，完成第一次和第二次工业革命需要长达 150 年的时间（见图 1-1）。也就是说，目前的变化速度是 20 世纪初的两倍之多。第三次工业革命的核心是以在线技术为依托，实现机器的自动化和生产工艺的简单化，第四次工业革命则带来了系统的数字化转

---

① 值得一提的是，欧盟一些代表认为，从 2020 年开始，成员国近三分之一的电能将来自可再生能源。

② 跨大陆指的是在整个大陆范围内进行的广泛应用和互联互通。即在一个大洲内的不同国家和地区之间建立起统一的能源网络，使得各个国家和地区的能源资源可以相互连接、共享和协调。

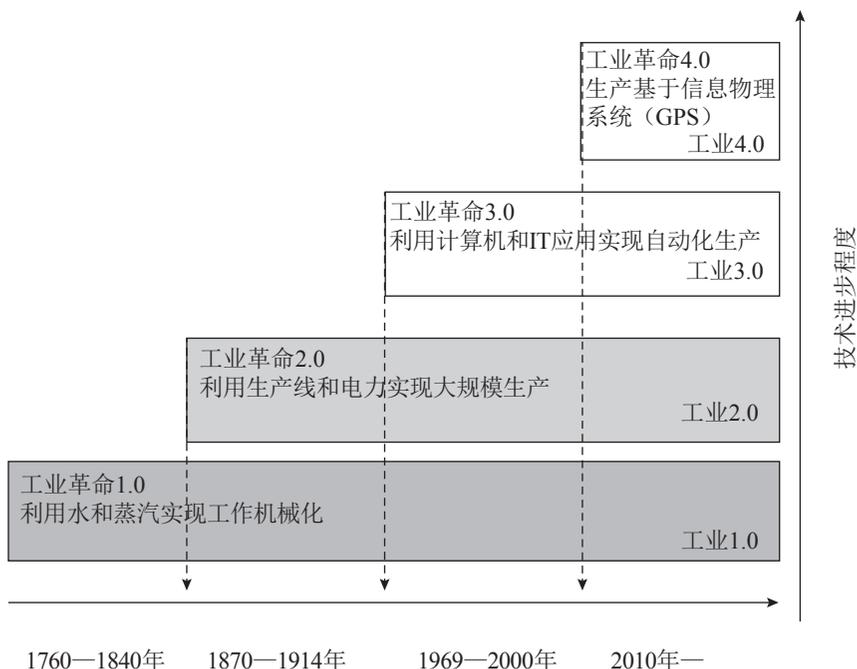


图 1-1 从工业 1.0 到工业 4.0 的演进

资料来源：基于德勤（Deloitte）2015 年的研究。

型，其中涵盖了所有固定资产，以及与联合服务网络（又称数字生态系统<sup>①</sup>）内拥有相似价值观的商业伙伴所进行的深度整合。换言之，第四次工业革命最主要的特点就是日益增长的数字化，以及特定部门和经济领域内产品、服务、价值观和商业模式的深度关联。在这种情况下，Pottin 和 Dietz（2018）观察到，第四次工业革命的目标（尤其是在生产领域）将侧重以下方面。

- 将智能机器引入企业，由企业完全自主控制生产过程。
- 将不同的生产方法与能够提供数字化系统支持的先进 IT 和通信技术相结合，促进制造过程实现独立管理。
- 在企业中实施智能化的监控和决策流程，使组织活动能够近乎实时地得到控制和优化。
- 在企业中使用能够通信的智能化机器，将生产过程中的缺陷告知各相

<sup>①</sup> 数字生态系统属于互联服务网络（平台），允许用户以其所拥有的能力来满足各种需求。因此，数字生态系统可依托平台所有者的强大品牌将客户需求与独立供应商的能力关联起来。

关方，并且为生产流程所需的库存材料创建清单。

考虑到上述情况，我们可以得出结论：第四次工业革命的概念将彻底地改变工业和服务业企业的经营模式。在实践中，目前的生产和服务管理流程将发生显著的变化。利用众多信息物理系统所产生和交换的巨大数据量，我们不仅能够监测生产和服务流程的当前状态，最重要的是，还可以依据定性和定量参数更好地预测这些流程的未来发展和变化。这样从时间和生产要素的角度来看，服务的生产和供应都会得到优化。这些情况会对人类以及人们先前在组织中所扮演的角色产生影响，所有一切必然发生巨大的变化。第四次工业革命要求人们具备全新的技能和能力，而这些技能和能力在很大程度上指的是人们适应现实变化的能力、创造性解决问题的能力，以及操作现代数字化设备的技能和较高的情商。接下来，本书将对第四次工业革命进行详细讨论。

### 案例 1.1 工业 4.0 发展愿景与未来趋势——《十年工业 4.0》

工业 4.0 的提出者亨宁·卡格曼和沃尔夫冈·沃尔斯特在 2021 年 3 月撰写了《十年工业 4.0》，对十年来工业 4.0 这一概念的发展和全球表现（如图 1-2 所示）进行了梳理，并面向未来提出了新的愿景。

#### 经济方面

- 将预先设定结果的传统自动化转变为实时对用户需求变化和意外干扰做出回应、能自动学习和调整的机器和环境。由此也带来大规模生产转向定制生产，即在价格方面更有竞争力地制造差异化的定制产品

#### 社会方面

- 重点是构建社会伙伴关系。因此，工会得以密切参与整个生产过程，并发挥建设性作用。重要的是以下三点承诺：改善人机协作而不必担心失去人的控制能力；通过“近岸外包”创造就业岗位；借助身体和认知协助系统，帮助老人和残障人士参与劳动

#### 生态方面

- 以资源和能源效率为核心目标：工业 4.0 拥有建立循环经济、使经济增长与资源消费脱钩的潜力。工业 4.0 把人置于核心地位，此外还考虑了社会和自然环境

图 1-2 工业 4.0 十年发展与全球表现

资料来源：德国国家科学与工程院前院长亨宁·卡格曼和德国人工智能研究中心前主任沃尔夫冈·瓦尔斯特所著《十年工业 4.0》；中国科学技术发展战略研究院王罗汉和王伟楠所著《德国工业 4.0 十年发展回顾与对中国的启示》。

工业 4.0 的发展趋势如何？2020 年，德国工业 4.0 促进机构工业 4.0 平台的专家提出了到 2030 年的工业 4.0 愿景，指出工业人工智能、边缘运算（edge-computing）与边缘云（edge-cloud）、工业 5G、团队机器人技术、自主内部物流系统以及欧洲数据云计划（Gaia-X）致力于打造可信赖的数据基础设施这六大新趋势将对未来 10 年的发展产生决定性影响。例如，借助工业人工智能，可以实时分析生产和供应链数据，并根据相关情况对其进行解释，以便将其积极地应用于新的价值链和业务模型，从而使生产数字化的第二波浪潮成为可能。

总而言之，应该强调的是，除了本章对第四次工业革命所概括的一般趋势外，我们还需要了解以下驱动力（普华永道，2016）。

第一，数字化转型以及价值链的横纵向持续整合。也就是说，第四次工业革命的推动力之一是在整个组织中横向转变和整合各个流程的能力——从产品采购和设计，到生产、物流，再到服务。垂直整合超越了公司内部行动的范围，延伸到供应商和客户，同时涵盖了价值链中所有的关键合作伙伴。这种类型的整合，需要有支持识别和追踪且能够实现一体化实时任务规划和执行的新型数字技术。

第二，利用先进技术实现产品范围和服务的数字化。产品数字化与产品阵容或整个产品组合的扩大有关，具体而言，公司可为产品配备智能传感器或通信设备，使之后续能够与数据分析设备配合使用。通过整合新的数据收集方法和数据分析，公司能够得到更多的信息，并将其用于产品优化，从而满足终端客户快速增长的期望。

第三，商业模式和客户渠道的数字化。通过商业模式的数字化，公司能够与客户共享额外的数据分析服务，或创建集成数字平台，来扩展公司的产品线。此外，还应注重与客户互动的优化。在数字生态系统中提供特定的数字产品和服务，是数字化商业模式的重要组成部分。

本节回顾了人类在过去 250 年中所经历的工业革命，可以说每一次革命的“成就”都与革命发生时知识的有用程度成正比。因此，随着知识有用性的日益提高，人们越来越有效地利用知识来创造新技术，知识成了 21 世纪的关键因素，决定了世界各国经济的发展速度。50 多年前 Kuznets（1965）

就注意到了这一规律，他认为经济的增长首先取决于有用知识的水平。

## 第二节 工业 4.0——基于定义的视角

工业 4.0 是指第四次工业革命。多年来，这个话题一直备受管理从业者和理论研究者的关注。前者主要关注的是工业 4.0 时代商品所带来的金钱上的成功，后者则注重观察、测量和分析这一现象，并检视这场工业革命会如何重新定义当前的组织管理模式。虽然我们可能都听说过工业 4.0，但并不是每个人都对它有一个清晰明确的概念。因此，本章将对“工业 4.0”一词的起源和含义进行全面分析。

### 一、工业 4.0 的起源

2011 年，在一年一度的汉诺威工业博览会（当今最大的工业展会）上，“工业 4.0”（Industrie 4.0）一词被首次公开提出。这一概念的使用与德国商界、政界和科学界的一些代表所提出的倡议直接相关，其主要目的是提升德国工业在面对中国竞争对手时的竞争力。<sup>①</sup>这个概念对德国政府代表非常有吸引力，因此他们决定将工业 4.0 列入德国最新研究和科技创新政策的关键要素。随后，德国联邦教育和研究部发布了一份题为《德国 2020 年高科技战略》的文件，其中详细介绍了德国工业 4.0 的发展，包括德国作为全球技术创新领导者的发展历程。<sup>②</sup>在描述与第四次工业革命发展相关的现象时，除使用“工业 4.0”一词外，文件中还使用了其他同义词，包括“未来工业”

---

① 中国目前财力雄厚，多年来一直在收购欧美高科技公司。值得一提的是中国最大的私营汽车公司吉利（Geely），该公司早在 2010 年就以 18 亿美元的价格从福特汽车公司购买了瑞典沃尔沃（Volvo）汽车的生产权。令这一汽车品牌爱好者惊讶的是，吉利公司的代表宣布，从 2016 年起，最新版的 S90 沃尔沃汽车将只在中国生产，并从中国向全球分销。此外，利用沃尔沃技术，到 2018 年，吉利公司开始生产自有品牌领克（Lynk&Co）汽车，并在全球销售，作为沃尔沃汽车的廉价替代品。目前吉利公司被市场专家视为世界上发展最快的汽车制造商。

② 如需了解更多信息，请浏览 <https://www.bmbf.de/en/index.html>。

(industry of the future)、“信息物理系统时代”(CPSs era)、“未来生产”“智能制造系统”(IMSs)、第四次工业革命(fourth industrial revolution, 4IR), 以及我们经常见到的“智能工厂”(smart factory)这个词。不过, 在美国等英语国家, 以下术语更常用于工业 4.0: “物联网”(IoT)、“万物互联”(IoE)或“工业物联网”(IIoT)。查看学科文献中描述当前工业革命的大量术语可以发现, 无论是在文献计量数据库, 还是在一般情况下, 常见的术语是“工业 4.0”。

## 二、工业 4.0 的含义

### (一) 广义视角

广义上, “工业 4.0”被定义为制造业组织和价值链管理的下一个发展阶段。Hermann、Pentek 和 Otto (2016) 以类似的方式对工业 4.0 进行了定义, 他们将其简要概括为“价值链组织技术和概念的统称”。<sup>①</sup> 西门子(Siemens)的专家提出了一个有趣的定义, 他们认为工业 4.0 就是在所谓的信息物理系统内, 利用技术先进的工具实现大量数据的自动化、处理和交换。在实践中, 这一点体现在生产的数字化上, 在此过程中技术设备和系统实现了在线通信, 从而确保了获得和分析大量生产数据的可能性(西门子, 2017)。Liffler 和 Tschiesner (2013) 提出了一个与西门子(2017)专家类似的主张, 不过他们注意到, 在数字化的生产环境中, 互联的机器、设备或系统不仅会分析数据, 还会相互控制数据。这样在设备运行出现异常变化时, 就有可能预测设备故障, 自动启动维修程序, 或者独立组织必要的后勤工作。Wong、Wan、Li 和 Zhang 等人(2016)也对“工业 4.0”一词进行了有趣且清晰的描述, 他们认为其主要思想是利用不断涌现的信息技术来实现物联网相关概念的落地。在他们看来, 随着当前业务和工程设计流程的深度整合, 出现了一体化、高度定制化的制造方式, 这种方式

---

<sup>①</sup> 工业 4.0 的概念可以简洁地定义为物理世界与虚拟世界的结合和交互。

具有高灵活性、高效率、环境可持续性、高质量和低成本等诸多特点。因此，即便抛开现有的流程管理或控制方法不谈，我们也可以得出结论：工业 4.0 与工业制造业或服务业日益增长的灵活性，以及相较市场上同类产品所具有的更高竞争力直接相关。

## （二）狭义视角

从狭义的角度来看，我们可以将工业 4.0 定义为制造业的数字化转型，利用大数据（大数据收集）、物联网、云计算或增强现实（AR）等现代技术（Fatorachian 和 Kazemi, 2018; Luthra 等, 2020），促进工厂和流程的一体化，从而实现高定制化和低成本的制造。Sharma 和 Kamble 等人（2021）认为第四次工业革命是多种技术、主体和管理信息的整合，可以通过整合以及数字技术的应用实现制造系统效率与响应能力的提升，从而改善生产过程。Kumar 和 Bhatia Manjot Singh（2021）也给出了类似的定义，即认为第四次工业革命可以应用突破性的技术实现流程的同步，从而对产品进行统一和定制化制造。在 Anderl（2014）所给出的定义中，还提到了这个概念在信息物理系统（Cyber-Physical Systems, CPS）中应用的可能性，他认为利用各个设备之间的技术通信能力可以创建出所谓的智能系统。

## （三）与工业 4.0 相关的基本技术与概念

尽管“工业 4.0”一词从广义和狭义视角上来看侧重点略有不同，但毫无疑问，它们之间的共同点是两个系统和整个生产环境的数字化，这一点在定义中多有提及。通过这种方式，工业 4.0（见表 1-1）的所有组成部分和关键技术，不论位置和定位都可以实现通信并自主行动，这证明了它们的创新性。以上针对“工业 4.0”一词的定义，只是我们在专题文献中所能找到的一小部分。尽管术语丰富，但就像对现象以及与第四次工业革命相关流程的解读一样，定义也各不相同。目前为止，文献中尚未提出一个被普遍接受的定义。此外，在对通用定义进行论证的背后，通常并没有纳入任何实质性评估，也未考虑定义者在定义该概念时所采用的标准。

表 1-1 工业 4.0 的基本技术和概念

群组	技术和概念
智能工厂	信息物理系统 (Cyber-Physical Systems, CPS)
	嵌入式系统 (Embedded System, ES)
	射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID)
	物联网 (Internet of Things, IoT)
	工业互联网 (Industrial Internet)
	服务互联网 (Internet of Service, IoS)
	自动化 (Automation)
	模块化 (Modularization)
	添加剂制造 (Additive Manufacturing, AM)
	产品生命周期管理 (Product Life-Cycle Management, PLM)
	机器人技术 (Robotics)
	人机交互 (Human-Computer Interaction, HCI)
仿真和建模	仿真工具和模型 (Simulation tools and Models)
	增强现实 (Augmented Reality, AR)
	虚拟现实 (Virtual Reality, VR)
	混合现实 (Mixed Reality, MR)
数字化和虚拟化	云计算 (Cloud Computing)
	大数据 (Big Data)
	移动计算 (Mobile Computing)
	社会化媒体 (Social Media)
	数字化 (Digitalization)

资料来源：根据 Oesterreich 和 Teuteberg 2016 年的研究整理而成。

工业革命的发展史，就是控制技术不断演进、升级、迭代的发展史，因而理解控制技术的演进，既是理解工业革命演进规律的必然要求，也是观察和理解当下数字时代纷繁复杂技术发展逻辑的一把钥匙。其中，工业互联网是工业 4.0 的重要组成部分，其本质是基于“云、边、端”等新一代技术体系，重构物理世界的动力、执行、控制体系，以及构建世界的运行规则。GE（通用电气公司）在 2012 年提出工业互联网的概念时，在其发布的白皮书《工业互联网：打破智慧与机器的边界》中指出，工业互联网作为人类生产工具的机器设备，试图解决的核心问题是在新一代数字技术驱动下，如何进行控制和优化，如何在更大范围、更广空间、更高精度用更低成本来对机

器设备进行优化和控制。近年来，我国工业互联网创新发展战略扎实推进，网络、平台、安全等体系建设不断完善，多层次、系统化的平台体系基本形成，为承接产业转移、加快企业数字化转型提供了有力支撑，已成为我国加快制造业产业数字化转型和支撑经济高质量发展的重要力量。

#### （四）工业 4.0 的运作环境

从整体且科学的角度来看，除了前面给出的定义，对工业 4.0 至关重要的是构成这一概念的组件技术和解决方案（见表 1-1）。所有这些相互作用又各自独立，构成了某种相互联系、相互依存的系统，为工业 4.0 的运作创造了环境（见图 1-1）。重要的是，这一环境条件的核心是采用模块化设计且基于信息物理系统的未来智能工厂。在各自软件的作用下，智能工厂的组成要素之间以及智能工厂和周围环境之间不断发生着智能通信（包括自动协调）。这种环境的一个重要组成部分是智能基础设施，包括智能出行、智能传输网络、智能交通、智能楼宇等（见图 1-3）。商业网络与各类全球社交媒体门户

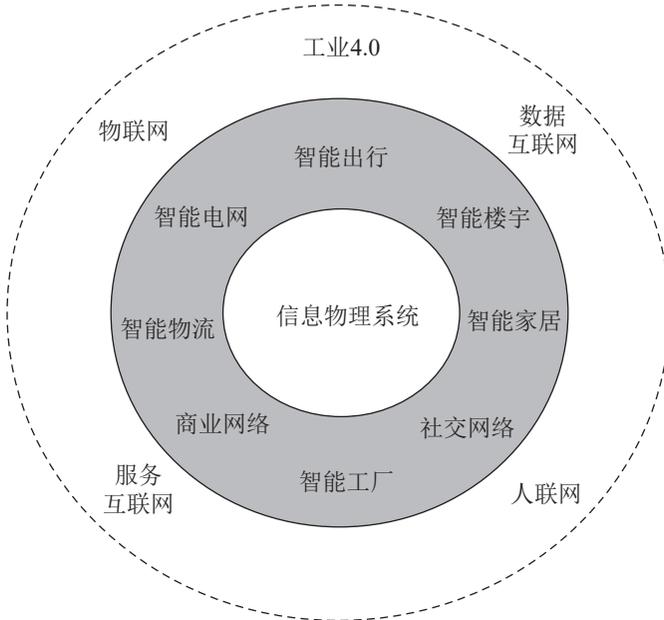


图 1-3 工业 4.0 的环境

资料来源：基于德勤（Deloitte AG）2015 年的研究。

网站（如 Facebook<sup>①</sup>、YouTube、Instagram、Pinterest、微博、Twitter）的联动也发挥了重要作用，这些门户网站在社会向工业 4.0 的数字化转型中日益占据主导地位。因此，这一领域的变化已经不可避免，且趋势无法阻挡。最后，这一过程不仅受物联网和数据发展的强力推动，还受万物互联网发展的强力推动（包括人员、流程、数据和事物）。<sup>②</sup>

## 案例 1.2 智能工厂——宁德时代智能制造战略转型

宁德时代新能源科技股份有限公司专注于新能源汽车动力电池系统、储能系统的研发、生产和销售，致力于为全球新能源应用提供一流解决方案。工业 4.0 背景下，宁德时代不断推动智能制造战略转型，现已完成三个阶段的升级跃迁，其发展历程如图 1-4 所示。

2011—2013年 自动化	2014—2017年 自动化+系统化	2017年至今 数字化+智能化
<ul style="list-style-type: none"> <li>在这一阶段，宁德时代主要在自动化水平，包括设备自动化、生产线自动化、物流自动化、仓储自动化等方面进行快速提升，逐渐建立起工程设计、测试验证、工艺制造等制造流程体系。在积累专业知识、丰富实践经验的同时，宁德时代培育了一批拥有先进制造潜力的自动化装备供应商，与之共同成长</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2014年被称为“SAP应用元年”，动力电池规模化制造需求提升。宁德时代开始陆续导入软件巨头SAP的企业管理系统（ERP）、供应商关系管理（SRM）和客户关系管理（CRM）系统。</li> <li>2015年，“物联网应用元年”开启，大量产品生命周期管理（PLM）应用软件被动力电池企业导入应用，设备端的大量数据开始逐渐上线。同年，宁德时代开启了PS（CATL Production System）体系建设，着手建立大数据平台，搭建物联网体系，并部署私有云和公有云平台，为后面的大数据分析和智能化导入奠定了良好的系统基础</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2017—2018年，宁德时代启动数据管理分析相关工作，包括数据管理、数据应用、数据分析，以及在实际的生产线和工艺优化上，同时开始尝试使用AI来解决锂电池制造难题，并在2019年取得了成功，AI应用开始渗透到动力电池制造方面。</li> <li>宁德时代开始关注如何基于导入的制造大数据，利用先进算法对设备进行智能维护，对生产线进行智能排程，以及对质量进行智能管控。</li> <li>2019年以来，宁德时代已经尝试在生产线上推广5G技术、AI技术、自学习技术、图像识别、视频流智能监控技术等</li> </ul>

图 1-4 工业 4.0 背景下宁德时代升级跃迁三阶段

① 据门户网站 dreamgrow.com 估计，2018 年 Facebook 活跃用户每月超过 22 亿人。

② 2015 年，总部位于斯坦福德的美国分析研究公司高德纳（Gartner）将物联网视为全球最重要的趋势之一。

在此过程中，宁德时代非常重视数据的应用，并把数字化建设独立于系统建设，成立了专门的大数据团队进行数据治理和价值变现工作，保证生产全过程的质量溯源，并通过关键环节的数字化集成来实现动力电池制造的智能化改造，取得了一系列成效（如表 1-2 所示），为行业、社会提供了有价值的参考。

表 1-2 宁德时代数字化建设系列成效

探索实践	整体成效	
以制造为核心，有效驱动了研发制造一体化、制造供应链一体化、制造服务一体化	生产效率	提升 56%
	产品研制周期	缩短 50%
	运营成本	降低 21%
	产品不良品率	降低 75%
	资源综合利用率	降低 24%
	设备国产化率	实现 90% 以上

资料来源：节选自“案例 9：宁德时代新能源科技股份有限公司——专‘芯’致‘智’，宁德时代智能工厂实践与创新”，收录于《智能工厂案例集（一）》，工业和信息化部装备工业一司于 2021 年 4 月发布。

### 三、工业 4.0 的典型特征

在了解了什么是工业 4.0，以及工业 4.0 环境构成的关键技术和概念之后，我们还要再问一个问题：工业 4.0 的主要典型特征有哪些？具体包括工厂或系统的特征。我们希望借此来明确与第四次工业革命有关的技术和概念的共同属性。在这一方面，学界已达成共识——这种情况不常见。绝大多数学者（Buttermilk 等，2016；Smit 等，2016；张其仔和贺俊，2021）认为工业 4.0 的主要特征集中在以下几点。

- 互操作性（interoperability）<sup>①</sup>。一般指的是各种不同且往往独立的“要素”能够进行全面合作，以达到既定的目标，并使合作双方获益。在工业 4.0 的背景下，网络整合成为主要目标，以确保智能工厂或人员能够通过物联网和服务互联网实现通信。在实践中，设施、机器、设

① 更高级别的兼容性。

备和人员通过网络与信息物理系统进行的集体通信决定了工业 4.0 的背景下我们是在与智能工厂打交道，还是只与工厂打交道。

- 虚拟化 (virtualization)。实际上是使用特定软件来实现所拥有资源的抽象化处理。在工业 4.0 领域，虚拟化可理解为将信息物理系统与虚拟模型和仿真进行结合的可能性。因此，信息物理系统必须具备模拟和创建真实世界“副本”的“能力”。在虚拟化的基础上，将来自传感器的数据与各种事物的虚拟模型结合起来，才有可能创建出智能工厂的虚拟“副本”。
- 去中心化 (decentralization)。本质上是各个子系统独立运作且同时进行决策和管理的方法。简单而言，去中心化和信息物理系统的独立工作能力有关。这种方法为非标准产品的生产以及解决“不寻常”问题创造了条件，使制造环境更加灵活和高效。再者，在实现共同目标的过程中如果出现任何冲突，问题都会被上升到系统的更高层级。
- 实时能力 (real-time capability)。指设备或系统对其他机器自动收集的关键信息即时做出反应的能力。根据实时需求做出适应性调整是现实世界中进行沟通、决策或系统管理的基础。从未来制造业的角度来看，智能工厂必须具备实时收集和分析数据的能力。事实上，决策就是在这个基础上做出的，而且决策必须与组织追求的目标保持一致。同样的情况还有缺陷或危险的识别，其应在系统或设备中被快速“捕获”，并转移到其他操作对象，以便进行修复或消除。这种生产管理方法可能有助于提升系统或设备的灵活性和优化性。
- 服务导向 (service orientation)。与客户导向型生产直接相关。从未来工业的角度来看，互联网将人与智能设施和合作伙伴网络连接起来，从而识别出客户的品位和偏好，从而生产出合适的产品。在这种情况下，可以得出结论的是通过服务互联网，一个“全球消费者偏好中心”由此建立。
- 模块化 (modularity)。连接未来行业的系统应尽可能模块化，包括将设计、生产、营销等各个环节模块化 (张其仔和贺俊, 2021)，以确保在需要时能够快速重建。在实践中，模块化是为了确保智能工厂

能够灵活适应动态变化的市场需求、趋势或运营环境，如更换或扩展所选模块。过去许多组织“天生”缺乏灵活性，这使得它们的适应过程长达数月，甚至数年，不仅产生了额外成本，还降低了它们的市场竞争力。

对于许多管理者和企业主来说，上述工业 4.0 的特点可作为他们设计未来智能工厂的指导原则。虽然这些都是前提条件，但遗憾的是，在信息物理系统时代，这些条件还不足以让组织有效运转。管理者还需在系统、平台标准化、工作组织、现代商业模式设计、技术知识竞争以及与人力资源、研发和知识产权相关的领域采取一系列行动。

概括来说，从上述诸多定义可以看出，工业 4.0 的概念与制造和服务领域延续至今的传统技术形式有着显著的差异。这些差异尤其体现在以下方面（Buttermilk, Nikoli, Mirčetić, 2016）。

- 产品。更加个性化，生产优化且成本低。
- 流程。基于网络解决方案，消除了知识和投资以及服务中小企业优化发展方面的障碍。
- 商业模式。目前已不再将小公司排除在全球市场争夺战之外（小并不意味着弱小）。
- 竞争对手。可以进入全球每一个客户市场。
- 技能。已向未来胜任力进化，即元技能<sup>①</sup>（本书稍后会做进一步讨论）。
- 全球化进程。为“万物”的全球化创造了前所未有的机会。

考虑到技术、最先进的概念和解决方案、网络物理系统（或互联网），所有这些都直接决定了第四次工业革命的驱动力，同时也提出了关于工业 4.0 经济潜力的问题。这个问题的答案既不简单也不明显，需要我们费一番功夫去寻找。

---

① 一般来说，元技能是某些能力，能够使一个人在快速变化的现实或环境中有效施展才能。

### 第三节 工业 4.0——第四次工业革命的经济潜力

有关经济过程的预测极其困难，而且具有高度的不确定性。这主要是因为预测过程由大量的内部和外部因素组成，当这些因素随着时间的推移表现出高度的可变性时，会扰乱对结果的评估。考虑到这些困难，预估第四次工业革命的经济潜力似乎是一项有风险的任务，尤其是在工业 4.0 中，我们处理的不是一项技术创新，而是多项。Schröder（2017）准确指出，其中一些技术虽然处于开发的高级阶段，但仍需要时间才能以成熟的姿态进入市场。此外，不同的技术成熟期使人们很难确定这些设备进入市场所需的时间。也就是说，想要预测人类什么时候能够收获“果实”是不太现实的。不过，根据一些学者对第四次工业革命潜力所做的假设，我们可以试着进行大致的分析。

#### 一、工业 4.0 的宏观经济潜力

首先应该指出每一次工业革命都有自身的经济潜力，第四次工业革命也不例外。毋庸置疑，在数字化和低成本制造的基础上第四次工业革命有潜力重塑全球经济。事实上，大多数有所接触和了解工业 4.0 的人都注意到了其积极潜力。在这种情况下，出现了一个问题：如何充分利用这一潜力为尽可能多的人造福？当然，这项任务需要广泛的国际合作和巨额的财政支出。这里值得提一下罗兰贝格管理咨询公司（Roland Berger）<sup>①</sup>2014 年在一篇题为《工业 4.0：新工业革命——欧洲如何取得成功》（Blanche, Rinn, Von Thaden, De Thieulloy, 2014）的报告中所发表的研究结果。该研究认为，如果欧洲想在工业 4.0 中发挥主导作用，那么未来 15 年内必须每年专门拨款 900 亿欧元。也就是说，到 2030 年，欧洲需要投入总计 1.35 万亿欧元的资金才能充分发挥工业 4.0 的经济潜力。在这种情况下，考虑到一些欧洲经济

---

<sup>①</sup> 罗兰贝格管理咨询公司成立于 1967 年，是全球领先的咨询公司。该公司在 36 个国家经营业务，为大型国际企业提供咨询和战略管理服务。

体的宏观经济形势，欧洲可能最终无法维持在这一行业的过高预算支出，或者这一负担可能导致其陷入债务漩涡。这会导致欧洲国家的预算赤字增加，并可能面临欧盟（EU）当局的制裁，特别是通过过度赤字程序（excessive deficit procedure）<sup>①</sup>。

撇开黑色场景不谈，应该明确强调的是与工业 4.0 发展相关的技术创新将是最近 15 到 20 年内所有经济体增长的驱动力。在实践中，这一点会反映在经济发展速度和人均 GDP 上。此外，新的工业 4.0 时代将在所有部门和行业留下印记，会导致世界经济发生结构化转型，推动新产业、新业态、新商业模式的生成，在这种新形势的影响下，会形成新的分工模式，尤其影响发展中国的经济。换句话说，从我们的工作方式到生活和合作方式，我们都将见证一场深刻的变革。张其仔和贺俊（2021）将第四次工业革命对经济增长的影响总结为以下几个方面。

- 劳动。第四次工业革命可以通过提升教育质量来提升劳动者的素质，从而对经济增长起到促进作用。
- 资本。与第四次工业革命相关的新产业、新业态、新模式的发展加大了对新型信息基础设施投资的需求，从而对经济增长起到投资拉动作用。
- 技术。第四次工业革命可以通过技术的进步提升劳动生产率。一方面，可以扩大市场规模、降低交易成本，优化社会分工；另一方面，可以推动企业组织和产业组织模块化发展，提升创新效率，加速全球技术的进步。

## 二、工业 4.0 的微观经济潜力

从微观经济的角度来看，工业 4.0 的经济潜力仍将主要用于提高生产过程的灵活性，提升数字化水平，促进组织的数字化转型，提产增效，并最终

---

<sup>①</sup> 如果一个欧盟成员国的预算赤字永久超过 GDP 的 3%，那么过度赤字程序（EDP）适用于该国。应该提到的是，2009 年，过度赤字程序覆盖了 28 个欧盟成员国中的 20 个。

支持低成本制造的设计。1994 年 1GB 数据的年存储成本为 10 000 美元，而 2016 年仅为 0.03 美元（Schwab, 2016），这一事实是工业 4.0 提供的可能性的最好说明，尤其是从降低成本的角度来看。此外，据目前估计，作为智能工厂一部分的智能自动化已经使机器的总停机时间减少了 30%~50%，平均降低了 20% 的成本。在这里，有必要补充一点，工厂停工是当今生产过程中最紧迫的挑战之一。据估计，目前停产一分钟可能让一家汽车制造商损失 22 000 美元，而放眼化工和石化等行业，计划外停机的平均成本每年估计高达 200 亿美元（Flex International Ltd, 2019）。

### 三、信息物理系统蕴藏巨大价值

从技术角度来看，在智能化的背景下，最重要的角色可能是处于工业 4.0 环境核心的信息物理系统（cyber-physical systems, CPS），其优势在于对所有规模和等级的各类系统的严格集成。CPS 是计算和物理过程的集成。此外，通过内置系统和计算机网络，CPS 能够与其他设备进行通信，并通过这种方式控制其操作。除此之外，CPS 还具有反馈传输能力，如反馈物理过程对计算的影响以及计算对物理过程的影响。在实践中，整合这些组件可以有效管理和监控以前设计的系统，并提升系统的实践适用性、应用弹性、可扩展性和安全性（Duan et al., 2021; Mitra, 2021; Xu et al., 2019）。不过，对计算机系统中存在的潜力必须进一步分析，最重要的是，必须加以开发。科学会在这一过程中发挥关键作用，它可以促进技术创新的进一步发展，进而有效支持 CPS 扩展的愿景。不久的将来，在全球产品和服务市场上，科学将成为经济竞争力的决定因素。因此，从国家的角度来看，为 CPS 的发展创造科技基础至关重要，且有望带来巨大的利好，包括科学和工程设计领域实现前所未有的突破。考虑到技术的无所不在，CPS 的出现只是时间问题，未来势必对世界经济产生一定的影响。因此，从经济发展的角度来讲，CPS 作为一种技术，不仅为各国提供了很多机会，也需要各国解决一些挑战，具体包括以下挑战内容（Rajkumar, Lee, Sha, Stankovic, 2010）。

- 全球电力的不间断发电和配电。<sup>①</sup>
- 农业价值链的所有阶段实现效率的进一步提升和可持续发展（欧盟委员会，2016）。
- 应对自然灾害或人类活动造成的灾害，安全快速地疏散人员。
- 不论居住在何处，均可获得世界一流的药物，包括最先进的治疗方法和技术。
- 消除致命事故，改善道路交通堵塞和延误。
- 设计更节能的建筑和城市。
- 为物理关键基础设施创建更现代的预防性维护方法。<sup>②</sup>
- 开发出使用一个应用程序即可完成自我修复的 CPS 系统。

这里并未列完 CPS 技术遇到的所有挑战。不过，可以肯定的是，其中大多数会专注于提高现代系统、流程和设备运行的可靠性和安全性。同时，在限制资源消耗，特别是有限资源消耗方面将发挥重要作用。特定流程的效率提升也是如此，任何无法增加价值的元素都将被自动消除或修正。

在实践中，正如我们所看到的，未来将着力建造自动驾驶汽车，包括完全由自动驾驶系统操控的飞机和火车。这意味着在拥有智能汽车的情况下，开车将不会发生碰撞，驾驶员无须持有驾驶执照，而且驾驶时还能够读书、参加电话会议、回复电子邮件，或者小睡一会儿。在这一点上，谷歌（Google）、苹果（Apple）和优步（Uber）等公司过去两年来一直在测试自动驾驶汽车，主要是在美国。谷歌的自动驾驶汽车已经行驶了 150 多万公里，没有造成任何事故，甚至刚蹭。此前谷歌等主要在美国高速公路上进行测试，最近谷歌决定转移到城市，包括加利福尼亚州的山景城。经过不断测试和改进，这些汽车已经能够检测到行人和其他车辆，包括从无灯或能见

---

① 适用于电力行业以下领域的数字支持：网络可靠性、对需求的智能反应、可再生能源的整合，或对混合动力车辆实施智能充电。

② 关键基础设施是确保经济和国家最低限度运行所需的实际和控制设施、设备（或安装系统）。关键基础设施通常包括供电系统、能源和燃料、通信系统、数据通信网络、金融系统、供水和食品供应系统、健康保护系统和一般生命保护系统、运输系统等。

度低的街道驶出的车辆。此外，通过实时道路扫描，谷歌工程师开发的自动驾驶汽车能够检测与道路施工相关的交通问题，独立识别临时停车的紧急车道，绕过停在路上的车辆，信号灯打开和关闭的情况下在正确的时间从交叉口驶出，识别自行车车手的左转或右转手势信号，或在交通堵塞的车辆前停车。因此，可以预见的是，无人驾驶汽车将成为智能交通的一个重要环节，未来有助于最小化甚至完全消除交通拥堵问题。

毫无疑问，智慧城市的建设将受到高度重视<sup>①</sup>，智能交通（包括智能汽车）则会成为智慧城市的重要组成部分。目前在全球许多城市，除其他问题外，公共安全问题通过智能闭路电视摄像头得到了解决<sup>②</sup>。利用市政广场、街道或住宅小区的闭路电视摄像机所记录的内容，城市应急服务部门可以对不符合现有社会共存标准的偏差行为做出快速反应。在 CPS 技术中，对实施蓄意破坏行为的人员进行身份识别是一个需要解决的问题，这些人往往遮挡面部，给检察机关的身份识别带来了困难。这个问题在中国得到了一定程度的解决。在人脸识别领域，两家中国公司——旷视科技（Megvia）和商汤科技（SenseTime Group）提供了一种技术解决方案，通过使用智能摄像头、人工智能以及一个包含 7 亿张中国公民照片的数据库<sup>③</sup>，可对任何在公共场所违法或行为不符合中国社会共存原则的人员进行面部识别。因此，这种解决方案正被中国警方在全国范围内推广使用。关于智能城市，这里也有必要强调一个与设计低耗能、低耗热和低耗水的未来建筑有关的问题<sup>④</sup>。

就水资源而言，主要关注的是智能水系统，即整个城市的净水和废水处理设施。如果设计和管理得当，可以保证像水这样的宝贵资源在城市中

---

① 根据欧洲电信标准协会（European Telecommunications Standards Institute）2015 年（标准：ETSI TR 103 290 v1.1.12015-04）提出的定义，如果对人力和社会资本以及传统交通和现代通信基础设施的投资是可持续经济发展和高质量生活的驱动力，那么一个城市可能被认为是智慧的。

② 目前中国被认为是全球闭路电视摄像头数量最多的国家。2017 年，中国运营了超过 1.7 亿台闭路电视，另有 4 亿台将于 2020 年底完成安装。

③ 16 岁之后，每个中国公民都有义务向当局提交身份证件，作为建设中国安全监管网络“天网”的一部分。

④ 例如，在智能雨水管理系统内使水消耗更低。

得到最有效的利用。因此，智能城市的水系统必须设计合理，因为从长远来看设计合理的水系统能够很好地节省成本。此外，智能水系统应该能够与其他系统进行连接并监测，从收益的角度来看，这一点很关键，如与气象站进行连接。因此，在这种情况下，开发和增加目前供水和污水管网的模型功能，特别是数字模型功能，是非常重要的。如果设计得当，将有助于提高城市智能水务管理的潜力，进一步优化整个水务和污水基础设施的参数，降低整个智能水系统正常运行所需的能耗，快速识别任何报警情况（包括系统漏水）。

### **案例 1.3** 福田长沙超级卡车工厂数字化转型与建设

基于工业互联网，长沙构建了多层次、多领域的平台体系，为打造全国重要的先进制造业中心赋能。其中，福田汽车长沙超级卡车工厂通过智能工厂、智能供应链、工业大脑三位一体，打造高度自动化、网络化的智能制造标杆工厂，并成功入选 2023 年湖南省“数字新基建”标志性项目。

长沙超级卡车工厂的工业互联网平台由 ERP、MES、MEDS、LES、WMS、F-BOM、物联网、数字孪生和云计算基础组成，平台采集生产过程中的各类自动化设备、RFID、二维码、工装拣选等数据，通过平台模型和算法，围绕生产线制造过程虚拟化、生产过程自动化、设备预测性维护、产品质量控制和仓储物流可视化五个方面的应用，对生产过程进行优化。在福田汽车长沙超级卡车工厂的装配车间，通过 MES 系统可以看到，工业互联网平台将订单自动拆解成数百道工序，各种个性化零部件通过统一调度精准分配到不同工位，与各类车型的车身底盘、上装部件的定位抓取无缝对接，并自动随意切换。此系统可满足中轻卡和普通家用轿车的混合通用生产，以最小的空间实现最大的生产效率，充分体现了长沙超级卡车工厂工业互联网平台的先进性和创新能力。

## 四、直面挑战，深挖价值

尽管工业 4.0 有巨大的潜力，尤其是 CPS 技术，但应该承认的是，我们

还有很多工作要做。或许前面提到的与信息物理系统相关的部分挑战可以很快地解决，但是想要找到其他挑战的解决方案，可能我们不得等上十年或更长时间。事实上，在智能系统的设计和建设过程中，一切都取决于能否有效利用工程设计和科学之间的强关联，尤其是信息物理系统，它由大量互联的传感器和设备组成，彼此之间相互影响且影响着周围的环境。因此，复合型复杂系统的存在产生了一些不易解决的科学和技术问题，但从构建未来无所不在的 CPS 系统的角度来看，这些问题又至关重要。这就是为什么工业 4.0 未来发展的一个关键问题是组织如何利用其在知识领域的潜力。此外，由于信息的敏感性，客户数据等信息还必须安全地进行采集和存储。这些知识将伴随着工业 4.0 的进一步发展，改变着我们所认知的世界。毕竟制造业将在很大程度上建立在被广泛理解的数字化的基础上，组织则需要调整当前的流程、程序、组织文化和管理风格，以满足客户快速变化的需求。未来工业将需要调动大量的资金和人力资源，而其潜力的发挥——不只是经济潜力——将取决于以下几个方面。

- 人和机器在数字化时代的角色。
- 员工对第四次工业革命的态度、准备和期望。
- 利用现有和新知识促进世界可持续发展。
- 工业 4.0 对工作、组织和社会的影响。
- 与数字转型相关的负面后果，包括新产生的生活方式与疾病。
- 工业 4.0 对医药发展和人们健康的影响。
- 管理领域现有范式的变化。
- 现有生活方式的根本改变。
- 全球（网络）安全。
- 虚拟世界对现实世界的影响。

在结束本节前，我们还想提一下这里所讨论的潜力——不仅是经济和社会潜力，还有工业 4.0 中所蕴含的科学潜力。发生在我们眼前的工业革命以及相关的智能制造、智能基础设施或智能管理<sup>①</sup>形成了一个较新的研究

---

① 智能管理是一个术语，主要适用于工业 4.0 中的所有行动、过程或决策。环境由一系列高度先进的技术 and 概念组成，将其应用于所持有的资源，包括数字技术，将确保组织实现假定的目标。

领域，不可避免地为科学带来了新的问题和挑战。由于某些研究问题的开创性和创新性，科学可能需要比以前多得多的财政支出，尤其是要求政府重视科研和创新，促进成果以专利、技术、产品或服务的形式尽快商业化。在工业 4.0 背景下，增强科学潜力不仅在于高校或国家研究机构，还在于企业。一些国家，尤其是发达国家已经开始运营创新能力中心，目的就是希望通过研发提高中小型企业的创新水平。此外，在国家和国际层面上，将打造更广阔的科研平台，旨在促进科学、商业和政治领域的合作与整合。以这种方式建立起来的工作团队正在合作研究可以在 21 世纪成功实施的新解决方案和新发明。因此，可以预见的是，随着第四次工业革命的发展，开展科学研究的范式将发生变化，因为从某种意义上说，任何知识都必须服务于产品、技术和服务的生产。然而，事实上，到目前为止，在大多数高等教育机构，这种做法只是作为学术讨论的主题，远未落实到行动。因此，高等教育机构与商业界之间的合作还只局限于学生实习项目（大部分是无偿的）或公共学习课程而已。

#### **案例 1.4** 国家支撑——建立健全数据基础制度

为了发挥工业 4.0 的经济潜力，作为基础的数字要素得到重视，中国政府围绕其出台了一系列支持性政策。2022 年 6 月 22 日，中央全面深化改革委员会第二十六次会议审议通过了《关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》，会议指出要建立数据产权制度，推进公共数据、企业数据、个人数据分类分级确权授权使用，建立数据资源持有权、数据加工使用权、数据产品经营权等分置的产权运行机制，健全数据要素权益保护制度。近年来，国家发展改革委大力推进数字化转型，取得了一系列成效（如图 1-5 所示）。下一步国家将继续深入推进数字经济高质量发展，抓紧制定数字化转型指导意见，推动数字化转型行动，并加快完善基础制度保障。

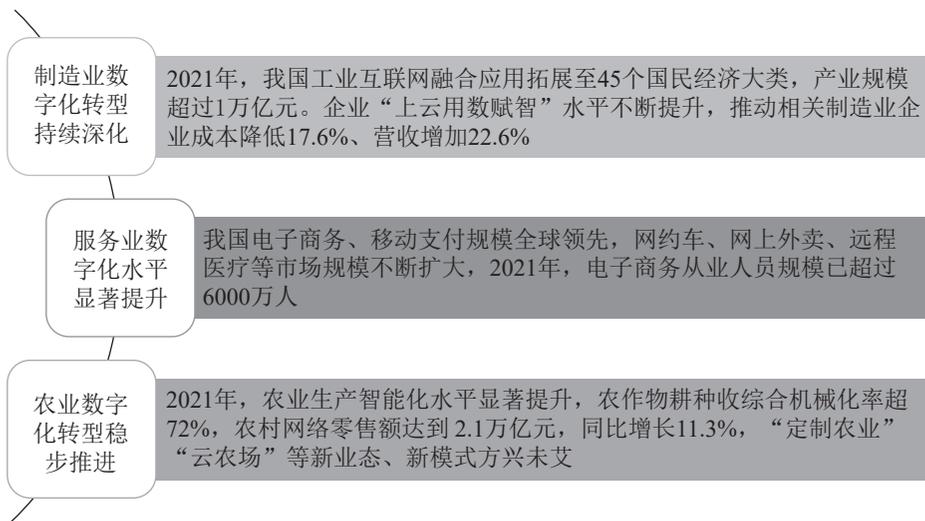


图 1-5 我国数字化转型系列成效

资料来源：张晓. 夯实数据基础制度更好发挥数据要素作用，光明网；国家发改委. 关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见。

## 第四节 工业 4.0——实施障碍与支持条件

### 一、工业 4.0 带来系统性变革

将技术进步成果引入组织中往往会涉及很多具体的问题，因为新技术带来的变化通常不仅影响组织，还会影响整个行业和部门。因此，变化往往是激进的，它会压制当前的生产过程、处理信息的方法和技术，甚至是管理模式和风格。所有这些因素，无论是共同作用还是单独作用，都会影响人类活动的各个领域，进而在其构成要素之间建立起无限的联系和相互依赖网络。这一过程的最终“产物”是一种以变化速度、高竞争度、广泛的数据通信网络以及大规模定制为特点的交叉联系的经济体，它改变了当代文化、商业或消费模式。由于技术变革无法阻挡，且不可忽视，因此我们应该主动去调整适应。

在实践中，组织无论大小，都要对动态变化的经济形势做出适时的反应。事实上，对变化过程的任何低估都可能成为组织崩溃的开始。摄影市场曾经的传奇柯达公司（Kodak Company）就是这种情况。该公司高管一直对数字摄影领域的技术革命置若罔闻<sup>①</sup>，颇具讽刺意味的是，柯达本身对这一技术贡献卓著<sup>②</sup>，这也导致柯达在进入市场 131 年后，于 2012 年宣布破产。目前像柯达这样不尊重技术和市场变化的组织相当少。事实上，在管理人员中，“落后”的意识反而强化了他们对创新的态度，深化了对市场及其特定性质的探索，提高了对客户情绪的感知。因此，他们也越来越多地受益于工业 4.0 在这一领域所提供的解决方案。不过，想要完全掌握这些技术并不容易，通常需要在组织、技术和财务层面做出很多“牺牲”。

## 二、工业 4.0 在企业中落地面临的障碍

组织如何克服现有障碍，以及如何实施工业 4.0 解决方案，要取决于许多因素。其中一个因素是公司规模。在大型企业中，由于规模大，制造往往已经自动化，流程也得到了优化，第四次工业革命成果应用的适应性似乎要大得多，在成本和技术解决方案方面都更容易。此外，完全数字化的决策、监督或档案流通管理流程几乎成了大公司的“标配”。而对于中小企业来说，情况似乎大不相同。在许多中小企业中，很大一部分操作、流程和工作仍然是在在线应用程序的支持下以手动或混合方式完成的。这意味着一旦工业 4.0 所提供的解决方案在企业落地，其效率将猛增，而现代技术应用给其带来的效益将超过大型企业数倍之多。在适应工业 4.0 技术的过程中，中小企业的角色极其重要。首先，通过这种方式，中小企业有机会在全球交叉联系的经济环境中主动求发展。其次，中小企业在国际市场上的竞争力增强。第三，考虑到中小企业在所有国家的 GDP 中都占很大一部分，国家未来的经济状况将取决于中小企业的数字化程度。撇开公司规模不谈，有必要注意

---

① 柯达忽视摄影市场数字革命的根本原因是利润率：在传统摄影中，柯达从中受益数十亿美元，利润率为 60%，而数字摄影仅为 15%。

② 在 20 世纪的美国，柯达公司的工程师获得了近 2 万项专利。

到，与工业 4.0 解决方案的落地相关的障碍对于这两个群体基本上是相似的，尽管也存在某些重要的障碍。由于障碍的数量不少，而且全部出现的可能性不大，因此笔者决定重点探讨常被提到的障碍。

### （一）管理人员的领导力

阻碍工业 4.0 落地的一个重要因素是管理人员和企业主缺乏进行深度变革的勇气。事实上，数字转型的过程需要执行者的远见、动机和参与，管理者的短视行为对企业数字化转型具有显著的抑制作用（王新光，2022）。因此，没有领导力 4.0（Leadership 4.0），工业 4.0 的概念就无法落地。领导力 4.0 主要与以下几点有关（Lewin，2017）。

- 增强决策过程的灵活性，最大限度开发利用组织中的新机会，同时确保沟通透明。
- 在事件发生前未雨绸缪，主动规划。<sup>①</sup>
- 管理层能够快速识别新出现的竞争对手并做出反应。
- 对能够发现、利用和最大化技术成果的人才做到知人善用。
- 鼓励组织充分利用数字化全球经济带来的机遇。

#### 案例 1.5 工业 4.0 背景下的数智领导力——首席数据官（CDO）

在工业 4.0 背景下，数据贯穿企业生产、规划、创新、管理、安全等各领域，并成为现代企业管理中至关重要的影响因素，也成为 CDO（Chief Data Officer）进入企业高管团队的重要原因。随着 IT 建设的不断升级，以及数字化带来用户改变，越来越多的企业需要完整且体系化的数据管理架构，从数据治理、数据管理和数据分析赋能等方面优化企业运营管理和业务模式，CDO 将成为完成这项使命的关键角色，为提升领导力 4.0 助力。CDO 核心数字领导力如表 1-3 所示。

---

<sup>①</sup> 主动规划侧重于采取主动并寻找新的解决方案。被动规划侧重于满足他人的要求和命令，以及解决他人而非自己的问题。

表 1-3 CDO 核心数字领导力

CDO 核心能力	管理大师 (注重风险)	数字化变革者 (注重规模化变革)	运营优化 (注重运营)	数据分析领袖 (注重收益、生产效率、成果)
优先事项	数据顾问、监控和管理企业数据	企业数据管理创新、降低成本、创收	实现数据有效性、可用性和效率	产品、客户、运营和市场的分析和汇报
侧重点	数据隐私、安全、保护、错误预警	自动化、文化、学习、知识管理	低效率、成本	数据透视和可视化、数据质量、准确性、可预测性、业务一致性
方式	建立数据框架、制定数据规范与规则、系统检测报告和问题响应	创造性地使用运营杠杆，如数据、分析工具、IT 和组织变革，来创造业务价值	构建或部署基础设施、工具、技术、流程和系统，以支持数据运营	在企业平台之上开发或部署分析模型，以支持或者实现业务单元自动化决策

资料来源：《2021 中国首席数据官白皮书》。

同时，《全球数字人才与数字技能发展趋势》报告显示，随着数字领域技术创新步伐的加快，经济社会各领域对数字人才的需求急剧增长，针对人才和技能的培养不再局限于高技能人才，而是扩展到所有公民。对我国来说，加强数字人才和数字技能的培养尤为重要，随着劳动人口红利逐步消失，劳动力质量的重要性日益凸显，提升劳动力技能，使之与经济数字化转型需求相匹配，既是数字经济发展的内在要求，也是经济高质量发展的重要保证。

## （二）数据与网络安全

我们认为，组织“通过”数字化转型过程时缺乏正确的领导方法是管理人员不作为的原因之一。另一个障碍是与网络安全相关的危险。在实施与未来工业相关的项目时，与其他实体的合作往往涉及敏感数据的共享，事实上，这会引发对自主技术和知识安全的担忧（Sharma 等，2021；Kayikci 等，2020）。例如，当所有者远程共享数据仓库中收集的与组织的整个生产过程有关的任何信息时，他们也会产生同样的担忧。因此，考虑到上述情况，企

业主必须自问，组织是否做好了将数据暴露于外部数字世界的准备，毕竟数据暴露存在以下形式的危险。

- 利用恶意软件发起攻击。
- 对收集的数据进行破坏攻击。
- 通过诱骗受信任的人或机构来盗取机密信息（网络钓鱼）。<sup>①</sup>
- 导致拒绝访问应用程序，从而利用在线提供的服务和产品进行攻击。

数据安全不仅关乎组织安全，也关乎国家安全和公共利益，是非传统安全的重要方面。2021年10月31日，国家安全机关发布三起危害重要数据安全的案件，分别为“某航空公司数据被境外间谍情报机关网络攻击窃取案”“某境外咨询调查公司秘密搜集窃取航运数据案”“李某等人私自架设气象观测设备，采集并向境外传送敏感气象数据案”，旨在进一步提高全社会对非传统安全的重视，共同维护国家安全。因此，考虑到此类危险，预防和安全措施对每个组织都至关重要，因为在适当时它们可以快速识别、分类和消除特定的危险。同时，它们可以建立适当的防御系统，以防类似攻击。

### （三）投资决策

从工业 4.0 解决方案在组织中的落地来看，正在实施的投资项目缺少商业理由也是一个很大的障碍。对于管理者来说，想要为工业 4.0 中的某一项投资找到明确的理由，真的很难，因为这并非普通的投资。

- 涉及对以往组织管理和人事管理方法的变革。
- 通常需要高额的财政支出。
- 很难规划落地所需的资金。
- 很难判定投资回报时间或落地成本的收回时间。
- 无法与其他类似投资进行对比，特定行业或部门中缺少优秀的商业案例。
- 现代技术投资天生具有更高的风险。

---

<sup>①</sup> 2019年3月12日，全球最大的网络安全企业之一卡巴斯基公司（Kaspersky Company）在其网站上公布了数据，2018年全球网络钓鱼攻击估计为5亿次，这意味着在现实中比2017年的攻击次数增加了2倍多。

- 缺少国家和私人投资者的支持，尤其是法律和财务上的支持。

因此，我们看到与工业 4.0 相关的投资项目非常复杂，需要采用非常规的实施方法。从经济的角度来看，我们可以问这样的投资是要满足什么样的需求、预估的规模有多大。当然，回答这个问题并不容易，答案也不明确，肯定需要广泛的讨论。

### （四）数据整合与处理

谈到阻碍工业 4.0 落地的因素时，必须特别注意数据整合方面的挑战（见图 1-6）。例如，在实践中有这样一种情况，使用各种通信渠道、设备和屏幕的消费者在系统中留下大量数据，然后每个企业都必须处理这些数据，以确保未来在市场上继续生存。这就需要有合适的系统，帮助企业快速整合来自不同用户、设备或不同数字和网络渠道的数据。不过，想要通过不同系统之间高效的信息交换来优化业务流程，需要在数据通信基础设施和顶级专家方面投入大量资金，二者会在分析客户需求等方面发挥很大作用。此外，

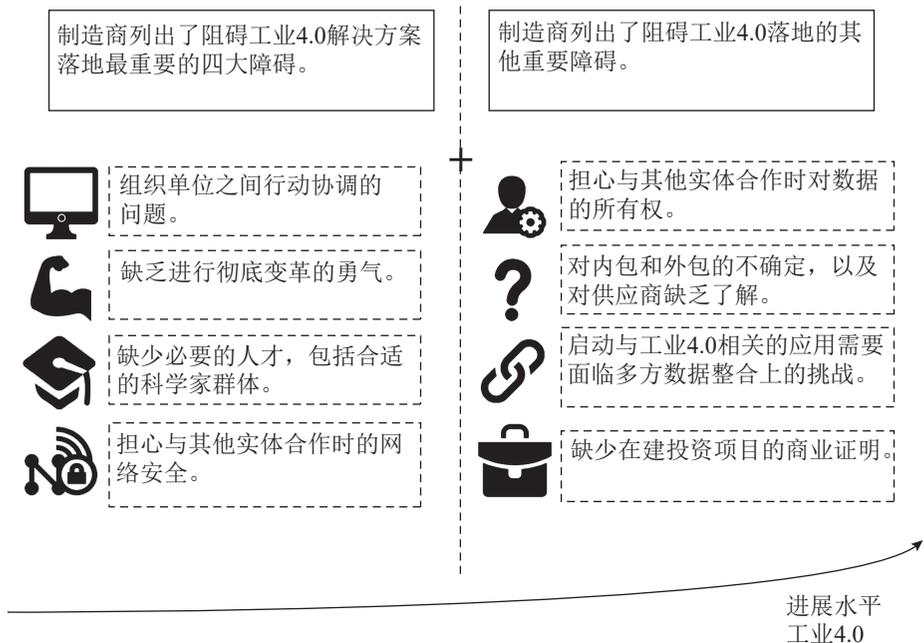


图 1-6 从制造商的角度看工业 4.0 的落地障碍

资料来源: McKinsey 和 Company, 2016。

从宏观视角来看，建立数据要素市场，并明确数据确权、开放、流通及信息保护、信息安全防护等环节的相关制度可以极大推动企业数据整合与利用，但当前数据要素的使用仍以企业内部数据为主，企业间的数据共享与再利用较少，且在操作层面上意识不强、规制措施乏力等问题导致了较高的数据流动和交易安全风险，从而阻碍了数据交易范围和规模的扩张，制约了数据要素市场的建立以及企业数据整合能力的提升（康芸，2022）。

### （五）总结：法律与立法、组织管理、人力资源

上述企业发展工业 4.0 的障碍只是我们目前在专业文献中所搜集到的一小部分。表 1-4 列举了我们在探索有关工业 4.0 知识时可能遇到的其他障碍。按照本质和性质，这些障碍被分为了三类，具体如下。

- 涉及法律和立法问题的障碍。
- 与组织管理相关的障碍。
- 与人力资源管理相关的障碍。

表 1-4 工业 4.0 组织中的发展障碍

障碍	类别	作者 / 来源
法律相关	缺少标准	Schröder, 2017
	缺少关于技术创新的详细规定，尤其是在知识产权、数据保护和责任范围方面	Oesterreich 和 Teuteberg, 2016
	专有技术缺少法律安全保障	西门子, 2017
	缺少关于数字工作环境中工作组织的指导方针	本书作者
	缺少顶层战略设计和布局	康芸, 2022
管理相关	管理层缺乏主动性	西门子, 2017
	缺少数字战略	Schröder, 2017
	缺少精心设计的 IT 部门	Winberg 和 Ahrén, 2018
	生产部门和 IT 部门之间缺少适当的沟通	西门子, 2017
	不需要改变以前的商业模式	Glass 等, 2018
	组织内部对工业 4.0 的发展缺少技术支持	Yao 等, 2017
	缺乏数据安全	Schröder, 2017
	信息和生产系统缺乏透明度	Winberg 和 Ahrén, 2018
缺少合作伙伴和项目融资计划	Glass 等, 2018	

续表

障碍	类别	作者 / 来源
管理 相关	对工业 4.0 的组织影响缺少预测和评估	Seseña Gaitán 和 López Martínez, 2017
	建立了数据筒仓	Yao 等, 2017 Pai 等, 2018
	错误投资的风险高	Glass 等, 2018
	缺少足够有关于工业 4.0 落地项目成功商业案例的出版物	Siemens, 2017
	课题的复杂性高	Glass 等, 2018
	缺少解决问题的行动或实施计划	Seseña Gaitán 和 López Martínez, 2017
人力资 源相关	缺少合格的劳动力（包括技能、知识、发展意愿）	Kagermann 等, 2013 Glass 等, 2018
	缺少对人机交互中依赖关系的可视化或理解	Winberg 和 Ahrén, 2018
	缺少强大的领导力和变革的领导者	Fonseca, 2018
	缺少专家	Siemens, 2017
	缺少增加劳动力灵活性的压力	Glass 等, 2018
	世界高度发达国家的负面人口趋势	本书作者
	缺少高等工程类人才	皮江红和廖依帆, 2022

资料来源：笔者根据研究资料整理。

由于描述所有障碍会超出本书框架，因此笔者决定只描述选定的、未被探讨过的障碍。法律方面的障碍主要是与新技术落地的安全性和可能性相关的法律法规问题。技术进步的几何增速使得任何立法改革都无法跟上节奏。因此，眼下迫切需要消除不利于工业 4.0 发展的法律障碍，并且建立能够促进工业 4.0 发展的法律框架。例如，与无人驾驶飞机（通常称为无人机）有关的法律法规就存在迟滞性。目前还没有相关法律法规阻止这项技术在物流、金融或营销等经济领域被推广使用。管理方面的障碍似乎最多（见表 1-4），许多组织都存在的一个问题是组织结构中有建立大型数据筒仓的趋势。所谓筒仓，就是营销、销售、客户服务、培训、项目等部门各自收集和分析自己领域的数据，而不与其他部门共享。也就是说，销售部门只分析销售数据，而营销部门只分析营销数据。最后，由于缺少信息的自由流通，数

据无法实现交换，组织难以很好地适应市场环境的变化，导致逐渐丧失竞争优势。讨论的最后一个障碍与工业 4.0 中专门人才的短缺有关。事实上，鉴于这方面存在胜任力差距，有必要采取行动改变目前的教育体系，以确保更好地满足未来工业在人力资源领域的需求。不过，在期待这些变化的同时，雇主将不得不承担高昂的员工再培养成本（通常情况下）。此外，劳动力市场的性质也将发生改变，具有认知能力和所谓元技能（Meta-skills）的人员将增多。

### 三、工业 4.0 在企业中落地所需的支持条件

综合上述关于工业 4.0 落地障碍的讨论，我们应该意识到，通过创造某些新的支持条件，其中一些障碍是可以被消除或被大大限制的。这里重点提供一些有助于未来技术开发和落地的支持工具，帮助组织营造良好的财务环境，培养高素质员工，充分利用高速和宽带网络，获得国家支持。财务环境方面，应推出这样一种解决方案，即工业 4.0 的短期研究主要由企业自行解决资金问题，长期研究则由国家、欧盟或其他国际组织的运营项目和拨款来提供资金支持。作为这种方法的补充，创新项目的融资可以寻求外部资本的支持，争取为企业提供信贷、贷款或债务证券方面的优惠。正如所讨论的，未来工业成功融资的一个重要因素会是技术信贷概念的普及，除了提供具有竞争力的利息，借款人还能够在完成技术投资项目的情况下偿还部分贷款。<sup>①</sup>

虽然为工业 4.0 的发展营造良好的金融环境不是一个大问题，但打造一支合格的工作团队肯定是一个大问题。这是因为在信息技术、机电、自动化、机电一体化以及网络技术中对工业 4.0 非常关键的专业方面，目前还存在巨大的人才缺口。这一领域的短缺主要是职业学校<sup>②</sup>的关闭造成的（尤其

---

① 这种创新融资方式被定义为技术奖金。

② 中欧和东欧职业学校倒闭主要是因为直到 20 世纪 90 年代末，这些学校一直被视为向失业者“提供教育”的地方。这一点很重要，因为当时该地区的绝大多数国家都在与高失业率做斗争。

是在中欧和东欧国家)，而这些学校非常重视科学教育，包括数学、力学或自动化。除此之外，西欧重人文（服务）轻科学（生产）的教育趋势也是造成人才短缺的原因之一。因此，在仍然需要考虑人口变化的情况下，各国至少需要几年时间才能弥合这一缺口。这为各类学校和大专院校的教育发展创造了条件，未来学校主修和辅修专业课程的设置应与动态变化的市场需求相匹配。与此同时，学校必须加大对工程师、计算机科学家或技术专家的培养力度，并且注重跨学科和多元教学。皮江红和廖依帆（2022）基于 Erpenbeck 及其团队（2017）提出的能力分类（个人、社会、执行和领域），结合工业 4.0 阶段工程人才能力需求，构建“四维”能力模型，指出面向工业 4.0 的高等工程人才应具备以下四个方面的素质能力，为未来高等工程人才的培养指明了方向。

一般性能力：

- 个人能力：工作态度、创造力、创新思维、灵活度、歧义容忍度、学习内驱力、抗压能力、心态、服从性。
- 社交能力：团队协作能力、发现能力、角色扮演与塑造能力、社交能力、跨文化能力、语言能力、沟通能力、网络能力、领导能力。

具体性能力：

- 执行能力：问题分析能力、问题解决能力、数据分析与解释能力、方法及工具的选择和使用能力。
- 领域能力：作业能力、模型构建能力、多媒体和计算机技术应用能力、数字技术应用能力。

除人力资源领域的支持外，高速宽带互联网的辅助对于组织而言也必不可少，尤其是位于乡村地区或远离大城市中心的企业。从工业 4.0 的总体发展，尤其是智能工厂的发展来看，接入适当的光纤网络至关重要。这种情况下，国家可以甚至应该发挥重要作用，国家应利用其预算资金，为企业家提供广泛的高速网络连接。此外，为了促进工业 4.0 的发展，国家还应该为不久的将来将决定国家新经济实力的项目提供充足的资金支持。

## 第五节 工业 4.0——组织和全球经济的挑战与机遇

### 一、工业 4.0 背景下的挑战

本章第三节介绍了第四次工业革命所“内嵌”的经济潜力。认识到这一点非常重要，因为它间接产生了企业和国家在迈向数字经济的道路上必须面对的一系列挑战。以下是微观经济（企业）层面上的一些重要挑战。

- 消除阻碍现代技术发展的障碍。
- 激励管理者进行变革。
- 需要重新定义当前的商业模式。
- 数据和通信安全。
- 接入快速宽带互联网。
- 创建数据库以及必要的分析方法。
- 维护制造过程的完整性。
- 构建可靠的机器之间的通信。
- 保护专业技术和行业知识不被竞争对手获取。
- 获得合格劳动力。
- 获取与工业 4.0 相关的知识。

从宏观经济（国家）层面而言，有以下几个重要挑战。

- 需要考虑国际法律法规中的“工业 4.0”概念。
- 详细列举伦理、安全和知识产权领域与工业 4.0 相关的法律法规。
- 从国家层面针对工业 4.0 的发展制定政府战略。
- 创建运营计划，为工业 4.0 项目的开发提供资金。
- 弥补数据通信基础设施中存在的不足。
- 消除与全球劳动力市场大量专业人才短缺相关的问题。
- 改变现有高中和大学的教育模式。
- 进行前景规划，考虑工业 4.0 的发展可能造成的社会排斥和文明威胁。

Petrillo、De Felice、Cioffi 和 Zomparelli（2018）认为，虽然对于大多数国家来说，与未来工业发展相关的挑战是相同的，但这些挑战可能存在细微的差异，尤其是区分发达国家和发展中国家时。按照他们的观点（Petrillo 等，2018），对于发达国家而言，工业 4.0 解决方案的落地还涉及以下挑战。

- 需要经常进行实验并不断改进，以确保通过这种方式获得的知识和经验可以帮助其他公司强化运营。
- 需要“释放”数据，以便更快地大量发送信息。
- 劳动力的转型，包括整合具有新技能的系统操作员，从而利用 CPS 系统实现数字化工作管理。

发展中国家面临的挑战则集中在以下几项。

- 建立整体培训体系，使设备操作员能够掌握数字制造和管理领域的特定技能。
- 提升工业 4.0 领先技术的落地规模。
- 识别数字经济发展的外部资金来源。

## 二、工业 4.0 背景下的发展领先者

综上所述，我们应当注意到，在第四次工业革命的背景下，摆在发展中国家面前的许多挑战都尚未得到解决。不过，关于未来工业的热烈讨论正在许多领域展开，相关的概念性工作还多处于初期发展阶段。与此同时，在被视为工业 4.0 技术落地领先者的发达国家（见表 1-5），所列的一些挑战要么已经得到充分解决，要么已经达到一个非常高的落地阶段。例如，各个实体针对工业 4.0 所进行的知识和经验的交流，目的是通过这类信息帮助其他公司加强其在该领域的业务。很多国家已经完成了这项任务，并且产生了工业 4.0 平台，促进了工业 4.0 相关任务和项目的公私协同<sup>①</sup>。

目前很多欧盟成员国以及其他国家都在运作这样的平台，包括德国（工

---

<sup>①</sup> 公私协同指的是政府和私营部门在工业 4.0 平台的建设和任务推进过程中的合作和协同努力。

业 4.0 平台)、奥地利(奥地利工业 4.0—智能生产平台)、瑞士(“工业 2025”计划)、法国(未来工业联盟)、西班牙(互联工业 4.0)、意大利(工业 4.0 计划)、波兰(未来工业平台)、捷克共和国(国家工业中心 4.0, NCP4.0)、芬兰(物联网工厂重启计划)和中国(中国制造 2025)。同时,这些例子也让我们意识到,在工业 4.0 技术落地的准备程度上,发达国家和发展中国家的差距逐渐扩大。也就是说,这两类国家群体之间的发展差距进一步拉大,发展中国家的竞争水平下降,可能会引发显著的焦虑。因此,在这一点上,我们应该提出这样一个问题:第四次工业革命是会缩小,还是会扩大发达国家与发展中国家之间的经济差距?

表 1-5 第四次工业革命领先国家

序号	国家	工业 4.0 准备程度描述
1	加拿大	多年来,加拿大一直被视为世界创新技术中心,主要与人工智能、分散式寄存器技术或增材制造技术有关。此外,除德国和日本外,对数字经济发展所引发的变革浪潮,加拿大的适应程度最高。重要的是,为促进工业 4.0 的发展,加拿大政府出台了和创新商业项目的资金支持政策
2	日本	日本是世界上产量领先的国家之一。不过,目前日本面临着许多社会挑战,如社会老龄化。该国当局确信,在工业 4.0 的帮助下他们将克服这些问题。因此,“社会 5.0”理念已经在该国普及了一段时间,目的是利用工业 4.0 技术解决社会问题。日本也是世界上机器人化程度最高的国家之一
3	德国	德国是欧洲第一也是全球工业产量领先的国家之一。自 2016 年以来,政府为德国制定了最新的高科技发展战略。在各种扶持计划的激励下,德国企业积极将人工智能等领域的创新技术应用到企业产品和服务中。“工业 4.0 平台”的建立实现了商界与教育界的合作,以及对创新型初创公司的援助,并且促进了经济、政治、社会组织、商业之间的对话。德国还决定将工业 4.0 领域的尖端技术落实到六大主要经济部门(机械、电工、汽车、化学工业以及农业和数据通信行业)
4	澳大利亚	在生产过程自动化方面,澳大利亚是世界领先的国家之一。最近,该国最大的工业集团的领导人决定对有兴趣从事制造业自动化和数字化的公司增加激励措施。此外,2017 年,澳大利亚总理牵头组建的一个工作小组与德国“工业 4.0 平台”公司签署了一项合作协议,目的是促进两国在工业 4.0 技术发展方面的合作和经验交流。澳大利亚是与德国签订此类合作协议的五个国家之一

续表

序号	国家	工业 4.0 准备程度描述
5	奥地利	奥地利具有高度工业化的特点，因此工业 4.0 是该国工业流程进一步发展的必要因素。除德国外，奥地利在智能制造工艺和自动化的实施方面拥有最大的行业潜力。2014 年，为了促进各界和各方交流工业 4.0 技术和概念方面的想法和经验，该国仿效德国创建了“奥地利工业 4.0”平台
6	瑞士	瑞士工业被公认为是工业 4.0 概念有效落地的最佳环境之一。目前瑞士正在积极参与“工业 2025”倡议，目的是发展瑞士的工业 4.0 领域，并促进瑞士工业的可持续数字转型

资料来源：笔者研究总结。

由于这个问题并没有确切的答案，而且涉及很多层面，因此笔者决定留给读者来思考。

### 三、工业 4.0 背景下的发展新机遇

诚然，在建设数字经济的过程中，国家当局、企业主、管理人员或员工所面临的挑战需要每个人都付出努力，除此之外，这些挑战也创造了某些机会。就工业 4.0 而言，机会包括以下几方面（联合国工业发展组织，2017 年）。

- 改善企业财务业绩，主要是交易和运输成本的降低带来的收入增长。
- 提高产品和服务的质量和效率。
- 向大规模定制过渡，中小企业部门参与度增加。
- 应用领域的后续创新发展，对经济增长产生更大影响。
- 节能环保型制造业。
- 更有效地利用人力、财产、自然资源。
- 改善世界不同地区的食品安全。
- 加强个人安全。
- 改善员工的健康和安全状况。
- 教育和培训体系的变化。
- 更容易获得创新技术（见图 1-7）。

- 工作组织的变化，从办公室到远程办公的过渡。
- 解决人口问题。

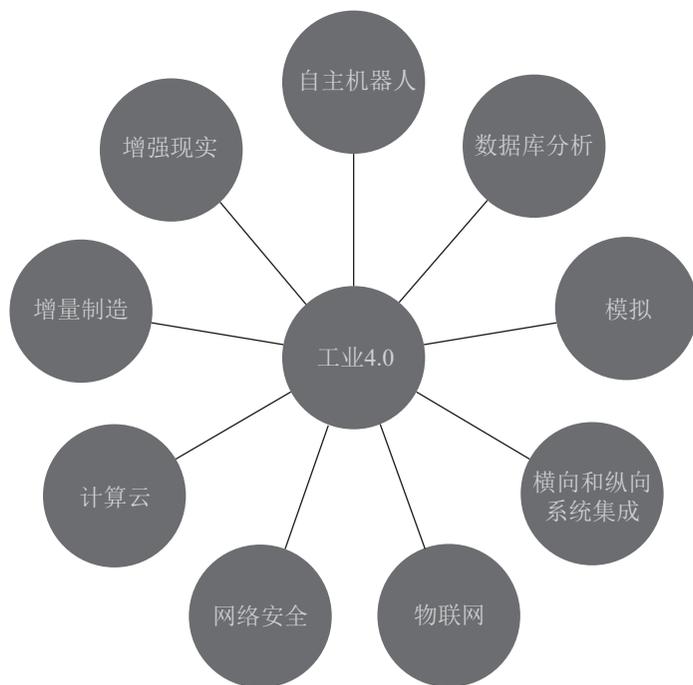


图 1-7 工业 4.0——未来的技术

资料来源：波士顿咨询集团，2015 年。

除联合国工业发展组织（简称工发组织）专家所列举的第四次工业革命的发展机会外，Xu、David 和 Hi Kim（2018）还指出了其他机会，主要包括以下几种。

- 降低发明者和市场之间的壁垒。
- 扩大人工智能的作用和范围。
- 促进多元技术和业态的整合（技术融合）<sup>①</sup>。
- 提高生活质量（生活机器人化）。
- 增强生活的完整性（互联网）。

<sup>①</sup> 技术融合的概念应理解为一系列不同技术的组合和转化，从而创造新的产品和服务。技术融合是来自不同行业、具有不同能力的公司共同支持、研发的结果。

Xu 等人（2018）对未来工业创造的所有上述机会进行了评估。第一，关于发明者和市场之间现有的壁垒，作者预计现代技术的发展（见图 1-7）可能显著限制这些壁垒。为了证实这一说法，他们以 3D 打印为例进行说明。由于打破了在制造原型方面的时间或成本限制，3D 打印为企业家提供了更快将新产品引入市场的可能性。第二，与人工智能及其应用前景相比，作者声称，人工系统将为许多国家的经济增长创造新的机会。事实上，生产和业务流程的自动化正在以几何级数的速度发展，已经让企业节省了数十亿美元成本并创造了新的就业机会。自动驾驶汽车会在一定程度上取代司机（如优步），而自动驾驶卡车会彻底改变快递市场，导致卡车司机的工作岗位大幅减少。第三，技术融合发展的概念具有巨大的潜力，因为它们模糊了物理、数字和生物领域之间的界限（Dombrowski 和 Wagner, 2014）。技术的这种结合远远超出了“整合”“巩固”或“统一”等词的含义界限。技术融合不只是一种互补性技术，因为它为每位创新者创造了新的产品市场和新的机会。通过技术融合，可利用过去的单个元素打造出新的产品和服务。第四，生活的机器人化将带来前所未有的机遇。技术机器人不仅会为我们做饭或创作音乐，还会为我们开车，或取代手术室中的外科医生。有了无处不在的机器人，无论是在家里还是公司，我们的生活质量将得到改善。Xu 等人（2018）认为，机器人将改善现有工作场所的质量，让人们有更多的时间关注自己感兴趣以及喜欢做的事情。第五，通过物联网，人类将能够利用设备、系统或服务之间的高级通信所带来的大量机会。这种通信将超越目前机器对机器的通信范式，且涵盖各种协议、领域和应用（Xu 等，2018）。

### **案例 1.6** 工业 4.0 助力绿色发展——工业互联网在实现产业链、供应链碳达峰与碳中和目标中的应用

工业 4.0 为世界发展带来的机遇还包括助力绿色发展，通过数字化、智能化打造可持续的绿色产业链和供应链，已经成为实现产业升级的必由之路。工业互联网平台在实现产业链、供应链的碳达峰与碳中和目标中发挥着关键作用，其主要应用场景如图 1-8 所示。

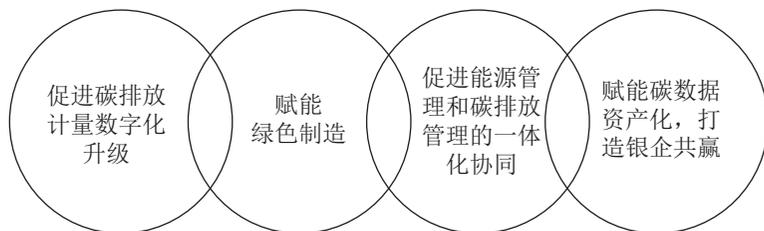


图 1-8 工业互联网平台在实现产业链、供应链碳达峰与碳中和目标中的应用场景

华为是绿色可持续发展的忠实践行者，致力于减少生产、运营等过程对环境的影响，持续牵引产业链各方共建低碳社会。华为供应链通过集成上下游环节的碳排放数据、设立相关计算模型，实现供应链各环节的排放要素和数据共享，形成基于华为供应链业务主体的碳足迹数据库，并通过实际数据进行数据挖掘、大数据分析，支撑更加精准的碳排放测算和运营管理。

资料来源：《工业互联网平台赋能产业链供应链白皮书》，工业互联网产业联盟（AII）。

总结第四次工业革命的发展所涉及的挑战和机遇，我们可以得出结论：大多数情况下，这些挑战和机遇将取决于企业和国家的发展规划。不过，在这一过程中，企业应该发挥主导作用，抓住参与全球数字经济发展的机会，抢先竞争对手一步，“先发制人”。国家则必须围绕工业 4.0 着力构建整个“组织—法律—金融”框架结构，其质量将最终决定国内企业吸收创新技术的速度和规模。因此，许多国家都在开发与未来工业相关的平台，作为思想和知识交流的场所，以及发明者与制造商或制造商与消费者沟通的渠道。这些平台应被视为迈向正确方向的一步。此外，考虑工业 4.0 的发展速度时，发展中国家和发达国家都应该特别警惕。从全球角度来看，挑战在于如何避免发达国家与发展中国家在企业技术创新方面的发展差距（包括金融和知识产权）进一步拉大。事实上，这种二元格局会导致很多发展中国家无法充分享受工业 4.0 所带来的利益，反而会增加失去相当一部分利益的风险。因此，出现了一个问题，即是否应该在全球层面设立一个管理机构，或在世界银行或联合国的主持下组建一个工作团队，以协调和监督与特定地区第四次工业革命发展动态有关的活动。似乎只有这种解决办法才能保证这一概念在全球范围内的长久和可持续发展。

## 章末案例 曲美家居并购 Ekornes ASA：是否是桩好生意？

曲美家居是中国国内一家大型家具集团，技术成熟、产品设计新颖、营销渠道多样，产品的设计、生产、销售在国内家具行业中处于领先地位。2018年5月至9月，曲美家居进行了一次规模庞大的海外并购，并购对象是从事高端摇椅生产、资本规模约为曲美家居两倍的挪威国宝级企业 Ekornes ASA。这次收购的动机如何？又为曲美家居带来了怎样的影响？

在国内制造业创新驱动发展的背景下，家具行业转型升级成为发展趋势。当前国内家具市场竞争激烈，人们对家具产品的个性化需求越来越重视，部分家居企业为求市场份额、制造技术、营销手段等更上一层楼，先后瞄准了海外市场，借助并购海外企业实现全方位的转型升级。在这一背景下，曲美家居将目光对准了 Ekornes ASA。Ekornes ASA 是挪威家具制造行业中的龙头企业，具有悠久的历史、精湛的制造工艺和享誉全球的知名品牌，其借助“工业 4.0”的全自动化生产流程备受曲美家居的青睐。

Ekornes ASA 的生产早已实现高度的自动化，生产效率大幅度提高，生产成本远低于同行业的其他企业，这为其提供了巨大的竞争优势。Ekornes ASA 在全世界有 9 家生产工厂，同时，它是挪威境内最大的家具制造企业。Ekornes ASA 公司拥有极为先进的数字化生产设备和管理系统，采用订单生产和批量生产相结合的生产模式，主要生产环节依靠数控机器人实现了自动化，机器人的自动生产系统和信息化智能柔性加工系统大幅度提升了产品制造效率。与国内家居企业依靠手工操作来进行家具的打磨、喷漆等相比，国外的家居企业在这些基础环节已经完全实现自动化。

通过一系列的尽职调查、市场评估、融资及实施并购计划后，曲美家居于 2018 年 8 月 29 日完成了对 Ekornes ASA 全部股份的收购，从而完成了此次并购。对享誉世界的高端家具制造企业的收购，为曲美家居品牌影响力的提升、资源整合与规模经济的实现，以及全球化战略布局开辟了道路，更大加速了曲美家居数字化转型的进程。曲美家居是家具制造行业内，极为少数的同时拥有成品家具订单式生产能力以及定制家具柔性生产能力的企业，公司依据智能化、专业化和信息化的制造体系，实现了“在线接单—在线交

单一送货上门”的全智能流程，下属的八大工厂按照总部的分工要求进行不同原材料的加工和产品的生产、包装。与此同时，Ekornes ASA 公司拥有高度自动化的家具产品生产线，并借助智能机器人自动生产系统和全信息化柔性加工系统，大幅提升了家具产品的制造效率和销售速度。通过此次并购整合，将订单化生产和全自动化生产相结合，充分发挥了双方的优势并弥补了各自的弱项，不断提高产品研发、生产的效率。

资料来源：《曲美家居并购 Ekornes ASA：是否是桩好生意？》，王洪生，魏超，陈万思，吕采霏，田冉，中国管理案例共享中心。

## 思考题

1. 结合曲美家居并购 Ekornes ASA 的案例，谈谈你对工业 4.0 定义，以及工业 4.0 和数字化转型关系的理解。
2. 在国内制造业创新驱动发展的背景下，试分析曲美家居选择并购 Ekornes ASA 的动机。
3. 并购 Ekornes ASA 为曲美家居在生产、制造方面解决了什么问题？带来了哪些改变？
4. 在数智驱动的新发展阶段，你认为该如何继续推动组织的变革与转型？