



热身：走进工业 4.0

第1章

“工业 4.0”，顾名思义是继前三次工业革命后的又一次工业革命。它是一项先进高端的科技战略规划，最早由德国政府提出。第四次工业革命战略规划的主要目的是想要通过提升工业制造业水平来构建集智能化、信息化、适应性以及资源效率为一体的“智慧工厂”。

“工业 4.0”从某种意义上来说，并不只是对全球工业领域的革新，它涉及范围广，牵扯面积大，不仅能对世界格局产生影响，也将渗透到人们日常工作、学习、生活的每一个角落。

初识工业 4.0

为什么是工业 4.0

工业 4.0 能带来什么



1.1 初识工业 4.0

随着“工业 4.0”这个高端战略规划提出，欧洲乃至全球许多国家和工业领域企业都陆续表现出了极大的关注和支持。

只有先了解“工业 4.0”的知识，才能真正走进“工业 4.0”。那么“工业 4.0”是基于什么背景提出的呢？为什么是“工业 4.0”呢？“工业 4.0”又能为我们的生活带来什么呢？如图 1-1 所示。

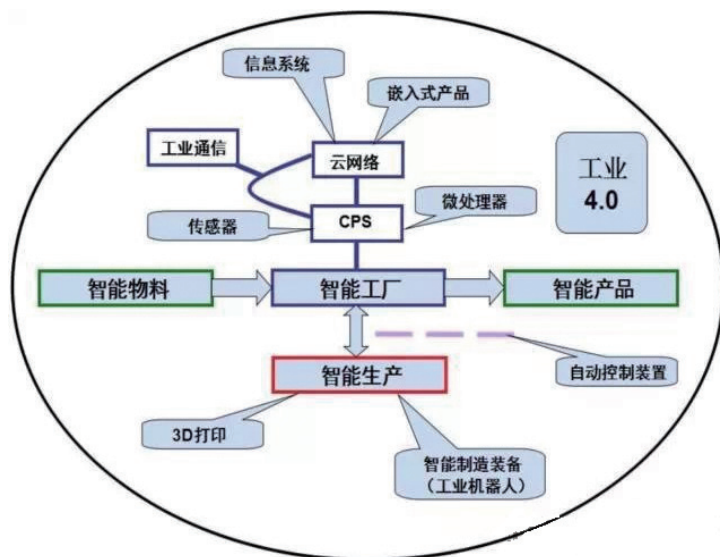


图 1-1 “工业 4.0” 的构架

1.1.1 工业 4.0 的背景

自从 2013 年德国在汉诺威工业博览会上正式推出“工业 4.0”战略规划以来，在短时间内就得到了来自政府、党派、工业企业、协会以及相关院所的支持和帮助，并且达成了一致共识。如图 1-2 所示为汉诺威工业博览会上的“工业 4.0”字样。

这对于一个来自民间的概念来说，从一个产业政策上升为国家法律并迅速演变为国家产业战略，有其偶然性，也有一定的必然性，如图 1-3 所示。



图 1-2 汉诺威工业博览会上的“工业 4.0”字样

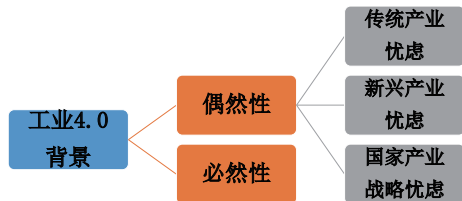


图 1-3 工业 4.0 的背景

1. 偶然性

早前在“工业 4.0”刚提出时，人们的最终目标是想要利用物联网等信息技术媒介来提升国家整体的工业制造业水平，只是当时世界对“工业 4.0”的关注度并不高。如图 1-4 所示为基于物联网与服务的智能化环境发展过程。

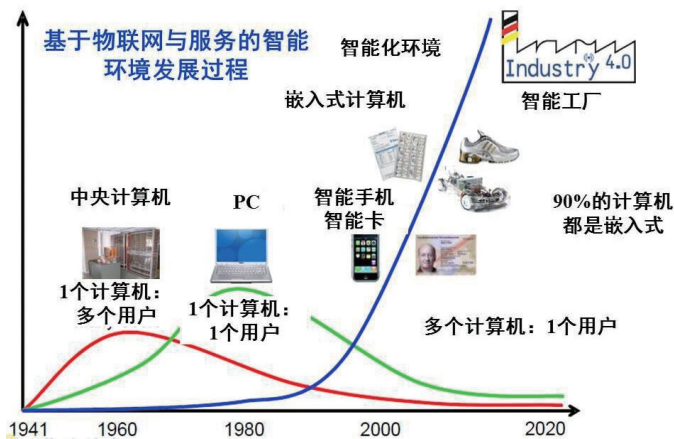


图 1-4 基于物联网与服务的智能化环境发展过程

此后，直到 2013 年有关部门再度提出这一愿景，并做出了一系列的实践。2013 年《德国工业 4.0 战略计划实施建议》发表后，德国正式向全世界宣布第四次工业革命已经到来，才逐渐得到认可和重视。

2. 必然性

德国是传统的科技工业强国，其中以鲁尔工业区为主，在全球工业制造业中起着主导作用，如图 1-5 所示。



图 1-5 德国鲁尔工业区

直到第三次工业革命，由于遭受到了来自各界的压力，导致其竞争优势逐步衰退。也是因为这一打击，德国才开始对工业产业链进行反思，并陆续展开转型和升级。那么，德国此前遭受到了哪些打击，又存在哪些忧虑呢？如图 1-6 所示。

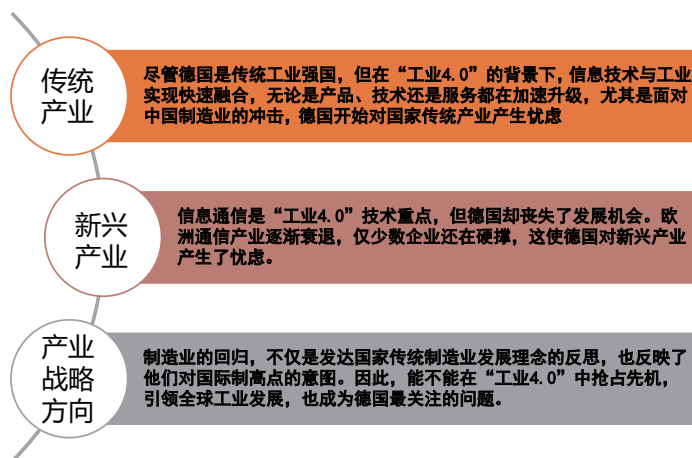


图 1-6 德国工业制造业发展的忧虑

1.1.2 工业 4.0 的来源

“工业 4.0”相比较于此前的 3 次革命，它的发展模式发生了基本改变，已经不再是过去的传统集中式控制，而是重新建立了集分散式与增强型于一体的控制



模式。这种发展模式具有更大的弹性空间，能够有效实现灵活度高的数字化产品生产模式。如图 1-7 所示为数字化生产控制平台。

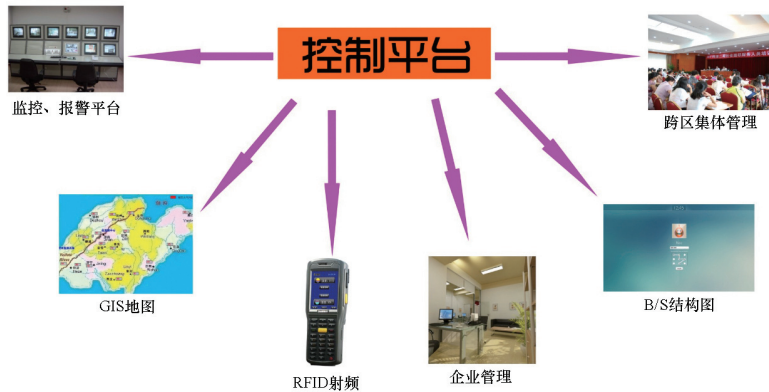


图 1-7 数字化生产控制平台

在这一新兴模式背景下，传统工业制造业将逐步消失，同时还会出现许多跨领域的合作，这样传统的价值链也将会被取代，产业链将面临重组。

在德国看来，第四次工业革命就是以智能化为主导的“工业 4.0”，最终目的就是利用新兴信息通信技术和信息物理系统 (Cyber-Physical System) 相结合的举措，实现工业制造业的智能化转型。如图 1-8 所示为智能制造环境。

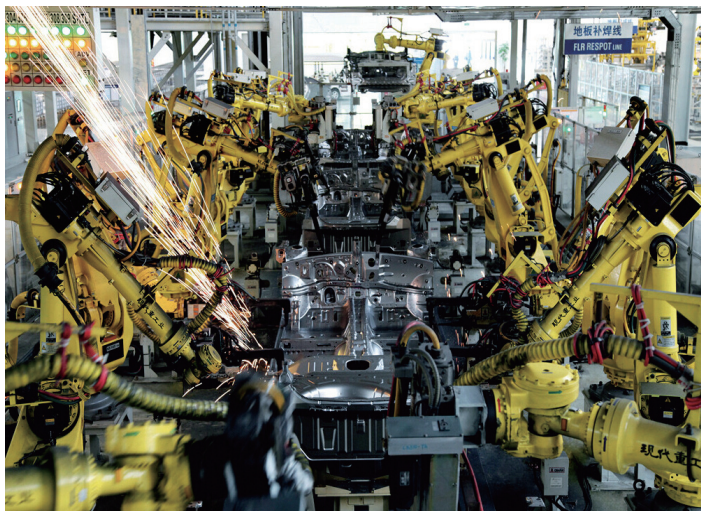


图 1-8 智能制造环境



通常，我们把“工业 4.0”划分为两大部分，即“智能工厂”和“智能生产”。下面主要从这两个方面详细介绍什么是“工业 4.0”。

1. 智能工厂

智能工厂主要与工业智能化生产过程相关，同时还能实现网络化分布式的生产设施。在智能工厂中，假如将人、机器以及资源三者集合到一起，它们就能够自然地进行沟通和协作，就如同置身于一个现代社交网络中一样。如图 1-9 所示为智能工厂网络结构。

那么，智能工厂又具有哪些优势呢？如图 1-10 所示。

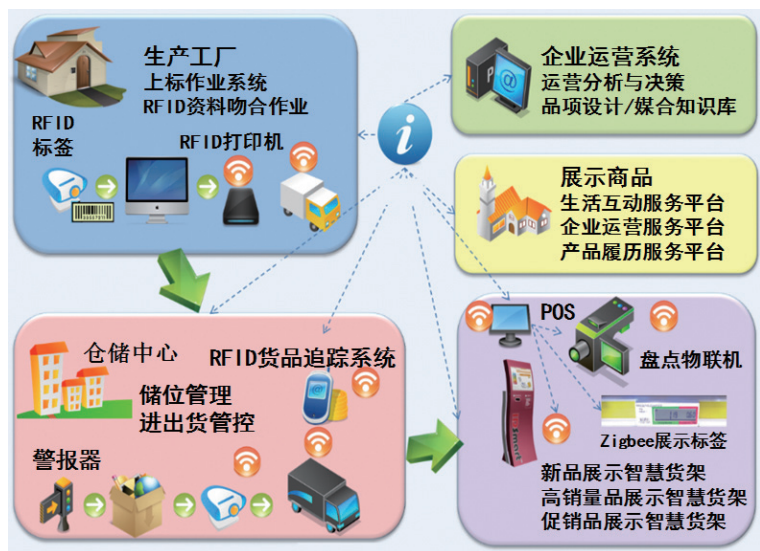


图 1-9 智能工厂网络结构

- 1 提供决策参考
- 2 安全生产，提高效率
- 3 处理漏洞，减少失误
- 4 加强联系，拓展市场

图 1-10 智能工厂的优势



另外，在这个沟通过程中，工业供应链也将参与其中。与此同时，未完成加工的工业产品将向机器传递加工资料与数据，再将其加工成工业商品。

在智能工厂背景下，未来的工厂将有很大可能实现自主工作，完成自主优化和自主操控。智能工厂不仅能够脱离中央控制，实现智能化，这种生产过程与传统生产模式相比更具有弹性空间，柔性生产程度也更高，如图 1-11 所示。

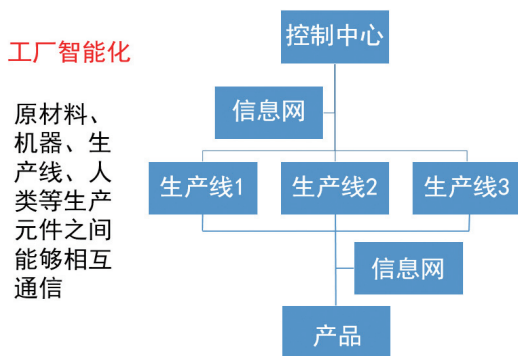


图 1-11 工厂智能化

2. 智能生产

智能生产的过程中主要会涉及 3 大部分，如图 1-12 所示。



图 1-12 智能生产的 3 大部分

在智能生产的发展背景下，在不久的将来工业制造业的智能产品将会被定位，我们能够对其工业产品一目了然，例如产品的发展历程和当前现状等。如图 1-13 所示为智能生产。

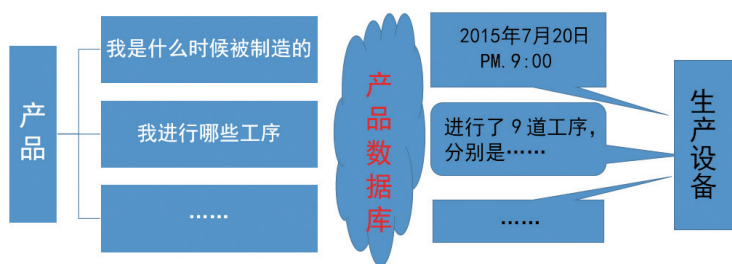


图 1-13 智能生产

1.1.3 工业 4.0 的目标

“工业 4.0”时代来势汹汹，志在必行。那么“工业 4.0”能为我们带来什么，能实现什么目标呢？如图 1-14 所示。



图 1-14 工业 4.0 的目标

1. 德国角度：继续在制造领域领头羊的地位

德国是工业制造业强国，也是制造业的先行者，在国际制造业市场具有领头羊的地位。“工业 4.0”对于德国来说，既是一次挑战也是一次机遇，德国人想要利用第四次工业革命这一契机稳住全球工业制造业领头羊的地位，因此，在向“工业 4.0”进发的道路上，德国开始抢占先机，先发制人，力争占领全球工业制造业的制高点。



那么德国工业强国的地位，在“工业 4.0”的发展进程中具备哪些优势呢？如图 1-15 所示为德国工业的优势。

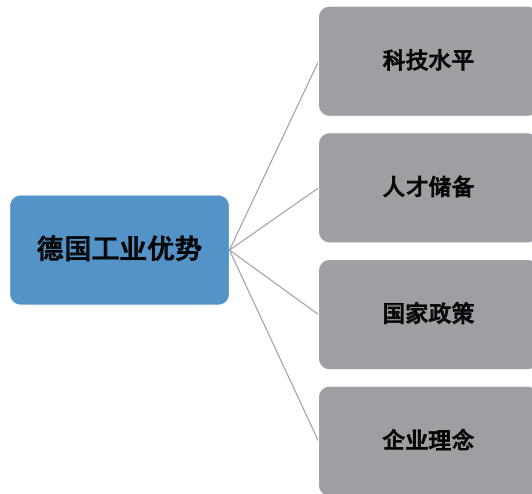


图 1-15 德国工业的优势

2. 制造业角度：实现智能化

随着第四次工业革命的开展，相信在不久的将来制造业将全面实现智能化。例如，通过信息物理系统构建网络全球化，如图 1-16 所示。

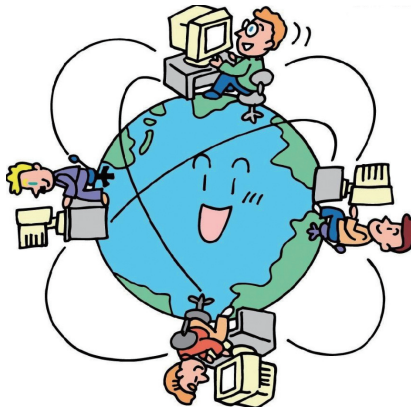


图 1-16 网络全球化趋势

那么信息物理体系还有哪些优势与作用呢？如图 1-17 所示为信息物理体系的作用。

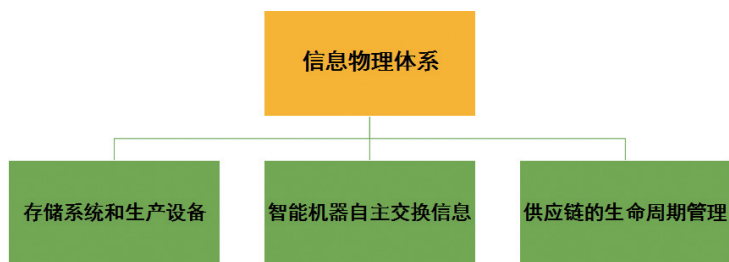


图 1-17 信息物理体系的作用

与此同时，“智能工厂”也将通过智能化的方式来加工、制造和生产，及时为人们提供工业智能产品的生产、使用和运输情况。



专家提醒

信息物理系统 (CPS, Cyber-Physical Systems) 是综合计算、网络和物理环境结合的产物，通过 3C 技术进行有机融合、协作。3C(Computing、Communication、Control) 是信息物理系统的核心，如图 1-18 所示。将 CPS 与 3C 进行融合协作，能够帮助大型工程系统实现实时感知、动态控制与信息服务功能。信息物理系统的计算、通信与物理系统的融合，可以帮助系统实现安全、可靠、高效的应用前景。

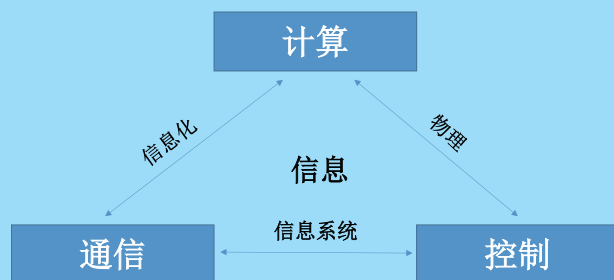


图 1-18 CPS 的核心“3C”

3. 个人角度：实现个性化定制

“工业 4.0”潜能是无限大的，从个人角度来看，当今社会人们所追求的个性化、多元化都可以通过智能工厂来实现，满足大众个性化需求。也就是说，以供应链为例，智能工厂能够完全自主掌握工业生产流程或一切与之相关的动态业务，



并根据生产需求做出适当调整，灵活应对工程生产中可能出现的误差和故障。

一般来说，个性化的定制产品相比标准化产品会更加贴近现代化需求，也更具有价值。由此可知，生产线柔性升级是制造业个性化定制的最终目标。个性化定制服务是一种大规模定制。通常，个性化产品定制多以高效率的批量定制为主，如图 1-19 所示。

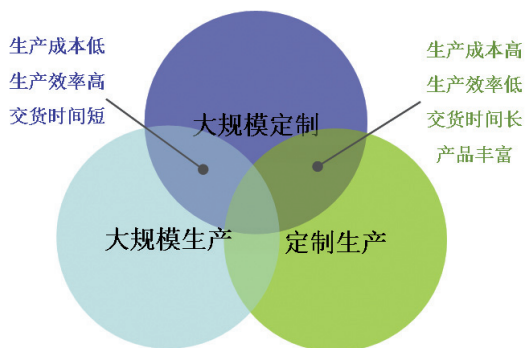


图 1-19 大规模定制

实际上，想要真正实现大规模定制生产，还需要利用动态配置的生产方式来完成。第四次工业革命中提到的智能工厂的固定生产线理念已经消失，现阶段采用的是动态有机的模块化生产方式，如图 1-20 所示。

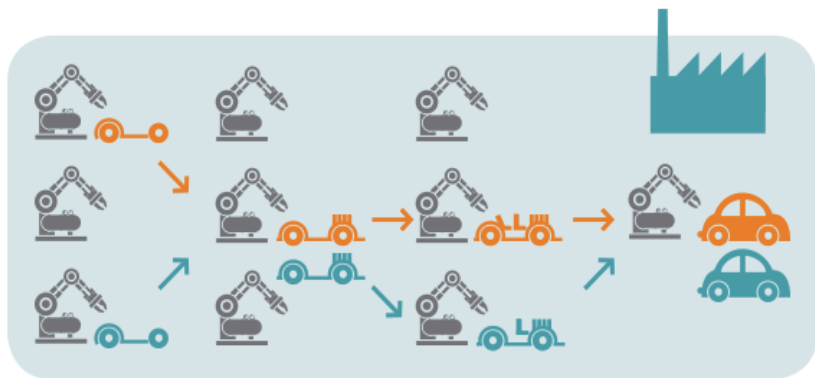


图 1-20 动态配置的生产方式

例如，可以将生产模块看成一个“信息物理系统”，使装配汽车自助在生产模块中自由穿梭，接受装配作业。在装配过程中假设某个环节或零部件出现故障，能够及时使用其他车型的零部件进行有效弥补，使其继续生产，达到及时



解决生产故障的目的。在这种动态配置的生产方式下，不仅能够通过动态方式来管理从设计到测试的全过程，还能保证生产设备的高效运作以及多元化的生产种类。那么，动态配置生产方式下的个性化定制流程又是怎样的呢？如图 1-21 所示。

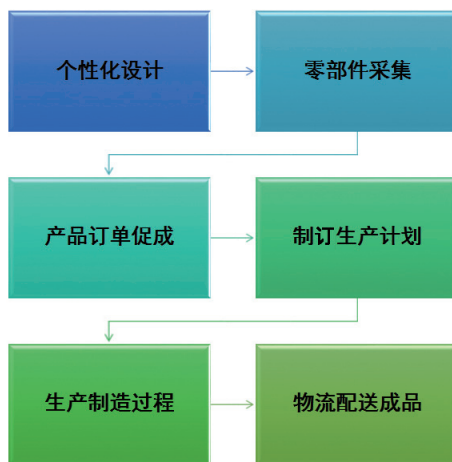


图 1-21 动态配置生产方式下的个性化定制流程

以智能制造的方式实现个性化定制生产，以最高质量和效率来满足客户需求。随着这一制造模式的普及和传播，我们应该看到它的优势，利用这一制造模式从根本上实现传统工业产业的转型升级。如图 1-22 所示为个性化定制平台。

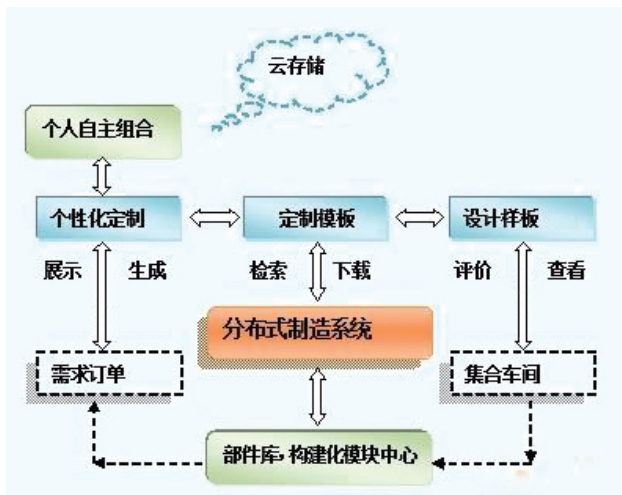


图 1-22 个性化定制平台



1.2 为什么是工业 4.0

工业革命 (the Industrial Revolution) 又称为产业革命, 起源于 18 世纪 60 年代的英国。第一次工业革命开始是西方资本主要工业化进程的起步, 是资本主义生产实现机器取代人力的过渡。

由于全球化竞争愈演愈烈, 德国意识到威胁已经降临, 为了稳固其工业强国地位, 开始对本国工业产业链进行反思和探索, “工业 4.0” 构想由此产生, 并在短时间内获得认同。那么为什么要取名工业 4.0 呢? 它与前三次工业革命相比又有哪些不同和优势呢? 本节将告诉你答案。

1.2.1 从工业 1.0 到工业 2.0

从 19 世纪中期到 19 世纪下半叶, 人类完成了从工业 1.0 到工业 2.0 的转型。那么为什么英国被称为第一次工业革命的发源地呢? 如图 1-23 所示为“工业 1.0”发生在英国的原因。

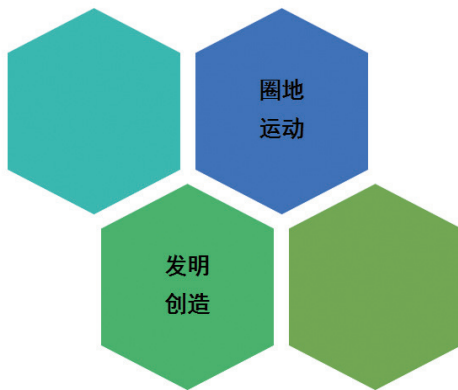


图 1-23 “工业 1.0” 发生在英国的原因

1. 圈地运动

英国是历史上第一个开始资产阶级革命的国家, 为了推翻封建统治, 一大批新贵族展开了斗争, 最终确立以议会为国家最高权力机关的社会体制。因此, 资本主义率先在英国建立。



14、15 世纪农奴制解体，英国新兴资产阶级为了获取更多资本，开始使用暴力掠夺农民土地，将私地公有，并将其变成大牧场、大农场，历史上将其称为“圈地运动”，如图 1-24 所示。



图 1-24 圈地运动

由于“圈地运动”后英国新兴资产阶级获得了大量市场和廉价劳动力，为了获取更多利润，就必须进行生产，但由于传统的手工作坊无法满足当时的需求。于是，一场生产手段的革命呼之欲出，历史上将这一技术革新称为“工业革命”。

2. 发明创造

第一次工业革命初期，人们结束了以人力、畜力、风力和水力等为主的生产动力，改由瓦特改良的蒸汽机作为生产的主要动力，如图 1-25 所示。

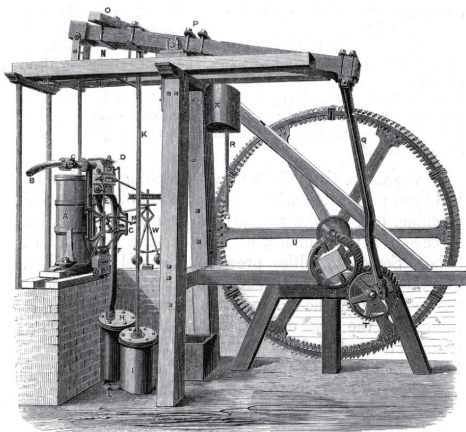


图 1-25 瓦特改良的蒸汽机



并由随后一系列的技术革命引起了从手工劳动向动力机器生产转变的重大飞跃。如图 1-26 所示为“工业 1.0”中英国的代表性发明创造。

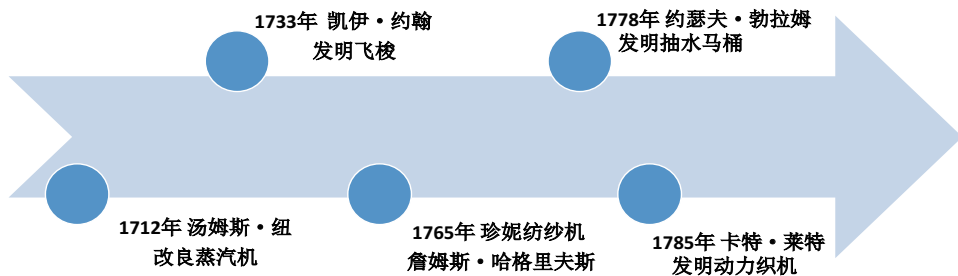


图 1-26 “工业 1.0”中英国的代表性发明创造

“工业 1.0”的出现加强了世界各国的往来和互动，改变了原有的世界格局，同时也确立了资产阶级的统治地位。英国作为第一次工业革命的发源地，率先完成了工业革新，这也促使英国在“工业 1.0”后确立了世界霸主地位。

但在“工业 1.0”结束后，人们发现第一次工业革命的蒸汽机已逐渐跟不上时代的发展步伐，与生产力需求不符合，因此在这种局势下，第二次工业革命由此产生。如图 1-27 所示为从“工业 1.0”到“工业 2.0”。

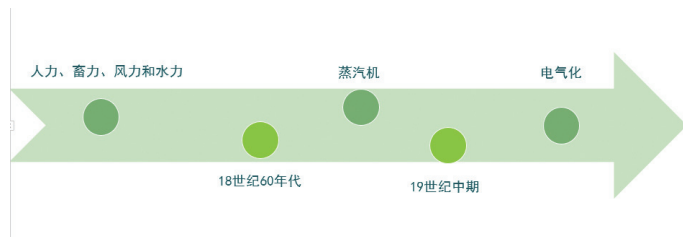


图 1-27 从工业 1.0 到工业 2.0

专家提醒

“工业 2.0”期间，社会经济与新兴科学技术展开了紧密结合。与此同时，更加先进的新机器、新产品不断涌现，生产效率也得到了飞速攀升。无论是电话、电报实现远距离通信，还是交通运输设备的出现，都拉近了国家与国家间的距离，也标志着工业革命进入了新纪元。



1.2.2 从工业 2.0 到工业 3.0

在第二次工业革命后期，大量的机器被陆续地发明，导致工业制造业生产方式向大规模制造的转变，第三次工业革命出现。“工业 3.0”开始于 20 世纪中期，以计算机为首的技术发明是“工业 3.0”的主要标志，如图 1-28 所示。

相比于“工业 2.0”，“工业 3.0”更具灵活性，利用电子和 IT 技术能够进一步优化加工制造流程，不仅推动了经济、政治和文化的发展，同时也影响着人们的日常生活。如图 1-29 所示为“工业 3.0”对人的影响。



图 1-28 “工业 3.0”主要发明



图 1-29 “工业 3.0”对人的影响

例如电视机、照相机的出现，丰富了人们娱乐、社交生活，大大缩短人与人之间的距离，如图 1-30 所示。

- 1 人造纤维的出现，使人们穿着多样化
- 2 杂交水稻的发明和推广，提高农业产量
- 3 电子计算机的广泛应用，提高工作效率
- 4 计算机的普及，为人们提供帮助

图 1-30 “工业 3.0”的发明对人类生活的影响



1.2.3 从工业 3.0 到工业 4.0

“工业 3.0”以后，以服务业和金融业为代表的行业异军突起，打败了在前三次工业革命中起到决定性作用的制造业。

2008 年金融危机后，全球金融领域遭受严重冲击，如图 1-31 所示。



图 1-31 金融危机

另外，这场危机也引发了以美国为首的许多西方国家对“去工业化”的思考，在这一背景下，德国先行提出了“工业 4.0”的构想，先后获得世界各国的支持。他们希望通过“工业 4.0”背景下智能化与信息化的标准，拉动经济发展，摆脱金融危机。而德国也希望借此机会，稳固全球工业制造业的领头羊地位。

从根本上说，“工业 4.0”是基于互联网、计算机技术、信息技术、软件以及自动化技术的深度交流，是一种新的价值链，与“工业 3.0”比较，更具弹性。

专家提醒



2008 年 8 月，美国房贷领域两大巨头房利美和房地美股价暴跌，与它们关联的金融机构迅速亏损。美国有关财政部门被迫接管这两大企业，以此来表明政府应对金融危机的决心。如图 1-32 所示为美国房地美公司。



图 1-32 美国房地美公司

美国作为世界大国，金融危机一经爆发就迅速将这一危机蔓延至周边其他国家，特别是对于国家金融市场而言，一度造成流动性不足，引发世界恐慌。

1. 更加灵活

“工业 4.0”不再是传统的按顺序操作和流水线生产，它将实现自律操作、单元化工艺、能够随时随地跟踪产品信息和位置，使生产和交付变得更加灵活，而且对于生产中中断和故障可以灵活反应，如图 1-33 所示。

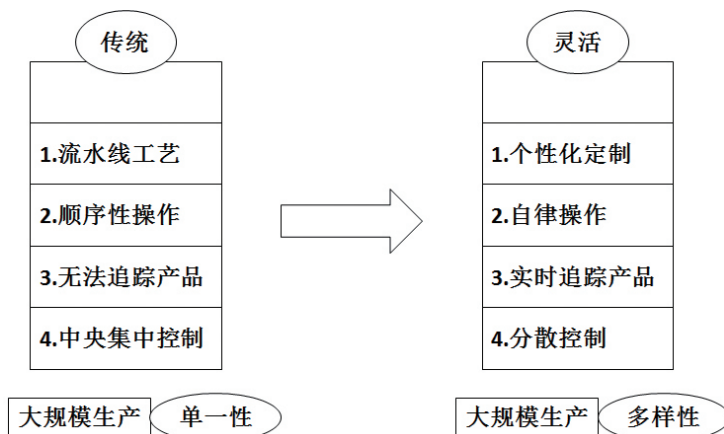


图 1-33 “工业 3.0”和“工业 4.0”的对比



“工业 4.0”的生产系统，就好比 USB 端口，该系统可以与不同类型的设备连接。我们可以期待在不久的将来，这个生产系统能够实现与生产原料、现场设备、机器等其他设备的连接，摆脱那些繁杂的编程和参数，充分发挥工业革新的灵活性。

2. 价值机遇

“工业 4.0”不仅创造了就业新形式，还产生了新的价值机遇。例如，通过智能设备对大量数据进行智能算法，以此来产生各类新型服务，为人类提供便捷。这种智能化对于服务于“工业 4.0”的中小企业而言，是个巨大的机遇。

3. 资源生产率和效率

工业生产的首要战略目标是以定量资源来实现最高产量，这在“工业 4.0”中仍然适用，利用资源生产率和最少资源实现资源效率。CPS 的应用能够使制造流程在个案的基础上满足工业价值网络优化的目标。

另外，在整体优化过程中，不需要停止生产，系统能够在生产期间自主帮助资源和能源消耗持续优化，通过这种方式最大限度地降低排放量。

1.3 工业 4.0 能带来什么

工业革命是对当前世界工业技术的革新，从第一次工业革命到第三次工业革命都对世界产生了前所未有的影响，也为人类的生产和生活方式带来了翻天覆地的变化。

那么，面对即将来临的“工业 4.0”，又会为世界带来什么影响呢？“工业 4.0”能改变什么、实现什么，又将产生怎样的价值呢？

1.3.1 工业 4.0 能改变什么

“工业 4.0”将为我们带来集原料、计划、生产、操作和物流等在内的更具灵活性和弹性的加工制造过程。这一弹性过程的出现不仅能够实现价值链的自我组织和优化，还能带来诸如成本、可利用性和资源消耗等不同基准的最优化选择。“工业 4.0”对世界工业领域产生的影响是值得我们思考的。那么“工业 4.0”又能改变什么呢？如图 1-34 所示。



图 1-34 “工业 4.0”带来的改变

1. 生产模式的改变

“工业 1.0”到“工业 3.0”工业制造的生产模式得到了不断优化，而“工业 4.0”的出现，将在第三次工业革命的基础上，对制造业提出全新的生产模式。

在“工业 4.0”之前，工业制造业各部门都是独立个体，但随着互联网的不断发展，网络开始不断渗透进制造业的生产中，网络参与协同制造的生产方式出现，同时得到了广泛应用。这个协同制造方式的应用，在一定程度上也对工业制造业的生产模式产生影响，如图 1-35 所示。

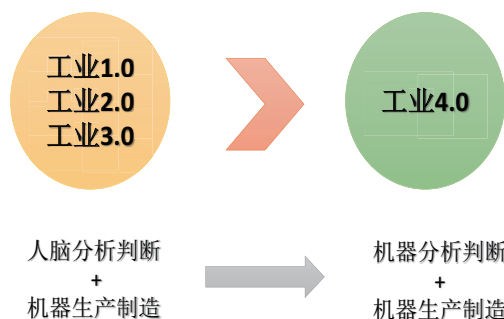


图 1-35 “工业 4.0”下工业制造业生产模式的改变

“工业 4.0”背景下，制造业生产过程发生了变化，它是在前三次工业革命的循环生产方式基础上进行了优化，如图 1-36 所示。也就是说，各部门之间不再是单一个体，而是一个有机整体。在这个整体中，客户、销售商和供销商的角色也会发生改变，如图 1-37 所示。