

智能工厂

响应度高、适应性强的互联制造

德勤咨询有限公司供应链和制造运营服务助力企业了解并把握机遇，推动工业4.0技术的应用实践，从而实现企业战略目标。我们在增材制造、物联网和数据分析方面的精深洞见，能够协助企业重新评估人才、流程、技术，以适应先进制造业日新月异的变化发展。

目录

制造系统的新前沿		2
智能工厂的定义		5
智能工厂的益处		10
建设智能工厂需考虑的要素		13
着手建设智能工厂		15
尾注		17

制造系统的新前沿

制 造流程的互联互通已非新鲜事物。然而，第四次工业革命（工业4.0）的兴起¹以及数字世界和物理世界的融

合——包括信息技术和运营技术——正使供应链转型日益成为可能。从线性序列式的供应链运营模式转变为互联互通的开放式供应链体系（又被称为“数字化供应网络”），能够为企业的未来竞争奠定基础。但是，要充分实现数字化供应网络的转型，制造企业需具备多方面的能力——推动企业运作的众多运营系统间横向整合的能力；互联制造系统间垂直整合的能力；以及整个价值链端到端、全面整合的能力。²

本文中，我们探讨了如何融合这些能力实现生产行为。此等融合俗称为“智能工厂”，意味着在工厂内和整个供应网络中推动更大的价值。

智能工厂代表了从传统自动化向完全互联和柔性系统的飞跃。这个系统能够从互联的运营和生产系统中源源不断地获取数据，从而了解并适应新的需求。³真正的智能工厂能够整合全系统内的物

理资产、运营资产和人力资本，推动制造、维护、库存跟踪、通过数字孪生实现运营数字化以及整个制造网络中其他类型的活动。其产生的结果可

可能是系统效率更高也更为敏捷，生产停工时间更少，对工厂或整个网络中的变化进行预测和调整适应的能力更强，从而进一步提升市场竞争力。

许多制造企业已开始多个领域采用智能工厂的流程方式，如利用实时生产和库存数据进行先进计划与排产，或利用虚拟现实技术进行设备维护等。但是，真正的智能工厂是更为整体性的实践，不仅仅转变工厂车间，更影响整个企业和更大范围内的生态系统。智能工厂是整个数字化供应网络不可分割的一部分，能够为制造企业带来多重效益，使之更为有效地适应不断变化的市场环境。

采用并实施智能工厂解决方案看起来十分复杂，甚至难以实现。然而，在技术领域迅猛发展和未来趋势快速演变的环境下，制造企业要想保持市场竞争力或颠覆市场竞争格局，向更具弹性、适

智能工厂代表了从传统自动化向完全互联和柔性系统的飞跃。



应性更强的生产系统转变几乎势在必行。制造企业须从大处着眼，充分考虑各种可能，从小处着手进行流程方式的可控调整，并迅速推广扩大运营，逐步达成智能工厂的建设愿景，实现效益提升。本文中，我们对智能工厂的概念进行了定义和描述：

- 什么是智能工厂，其主要特征，以及推动其兴起

的相关趋势

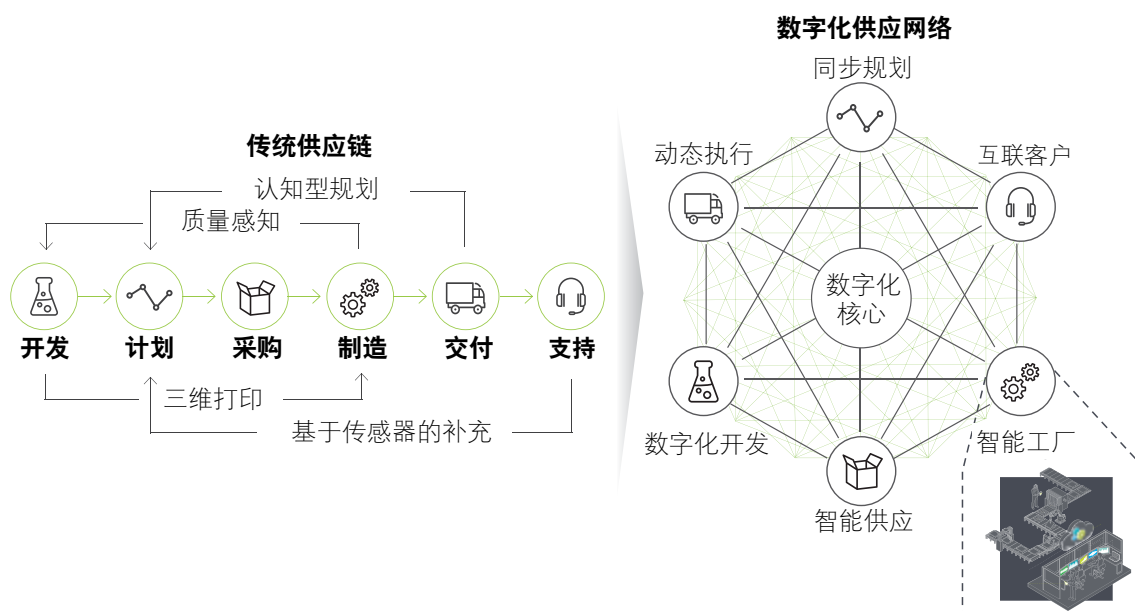
- 构成智能工厂的组成部分和技术，以及其如何融入数字化供应网络
- 智能工厂如何推动价值创造，并实现其他效益
- 企业着手建立并向真正的整体智能工厂转型的方式

数字化供应网络简介

在德勤《数字化供应网络的崛起》⁴文章中，我们介绍了传统供应链的线性本质，其中依次分布着设计、计划、采购、生产和交付等流程。但是，如今许多供应链正从这种刻板的序列结构转变成动态互联的系统——数字化供应网络，该系统更易于整合生态系统中的合作伙伴，亦会随时间推移不断优化。数字化供应网络能够整合来自众多不同源头和地点的信息，推动生产和配送的实际运作。⁵

图1可以看到新数字化供应网络模型的互联网格线，数字化是其核心。该网络中，每个节点至其他各点都具有潜在的互动连线，能够促进各领域之间产生以前并不存在的更大程度上的互联互通。在这个模型里，通讯是多向的，在传统供应链中并未建立的连接之间创造了互联。

图1：传统供应链向数字化供应网络的转变



资料来源：德勤分析。

德勤大学出版社 | dupress.deloitte.com

智能工厂的定义

一直以来，自动化在某种程度上始终是工厂的一部分，甚至高水平的自动化也非新生事物。然而，“自动化”一词通常表示单一且独立的任务或流程的执行。过去，机器自行“决策”的情况往往是以自动化为基础的线性行为，如基于一套预定的规则打开阀门或开启或关闭水泵。通过人工智能的应用，以及成熟度不断深化的信息物理系统将实体机器与业务流程相结合，自动化日益覆盖了通常由人类进行的复杂优化决策。⁶最后，也许也是最为关键的，“智能工厂”一词亦表示通过互联互通的信息技术/运营技术格局，实现工厂车间决策及洞察与供应链以及整个企业其他部分的融合。这将从根本上改变生产流程，大大增强与供应商和客户之间的关系。

通过这个描述，我们可清楚地了解智能工厂并不仅仅是简单的自动化。智能工厂是一个柔性系统，能够自行优化整个网络的表现，自行适应并实时或近实时学习新的环境条件，并自动运行整个生产流程。⁷智能工厂能够在工厂车间内自动运作，同时与具有类似生产系统的全球网络甚至整个数字化供应网络互联。

需要注意的是，鉴于技术的快速发展趋势，本文对智能工厂的定义和描述不应视为其“终极形态”，相反，其代表的是长期进行的演变，是打造并维持一个柔性学习系统的不断发展的历程，而非过去工厂所进行的一次性现代化方式。

智能工厂真正强大之处在于其根据企业不断变化的需要发展和成长的能力，无论这些需要是客户需求的转变、进入新市场的扩张、新产品或服务的开发，还是预测性更强响应度更高的运行和维护方法、新流程或技术的引入，或是生产流程的准实时变化。由于具备更为强大的计算和分析能力，并拥有更为广泛的智能互联资产生态系统，智能工厂能使企业以过去相对困难甚至不可能的方式适应变化。

智能工厂是一个柔性系统，能够自行优化整个网络的表现，自行适应并实时或近实时学习新的环境条件，并自动运行整个生产流程。

智能工厂的特征：与众不同之处在哪？

面对企业或生态系统范围内的万千变化，许多制造企业疲于应对，运营状况面临巨大的压力（参见边栏“智能工厂：为何今时今日？”）。智能工厂解决方案能够提供多种方式，助其成功应对部分问题。实时调整并学习数据的能力使得智能工厂拥有更高的响应度，更具前瞻性和预测性，并助企业免受运营停工及其他生产难题的困扰。

某领先电子公司采用了一套全自动化的生产系统、三维扫描仪、物联网技术以及一体化机器控制，作为其生产空调的过程中实施智能工厂解决方案的举措之一。这个自动化的益处包括客户交付时间缩短，整体成本下降，以及产能提升25%，残次品减少50%。⁸

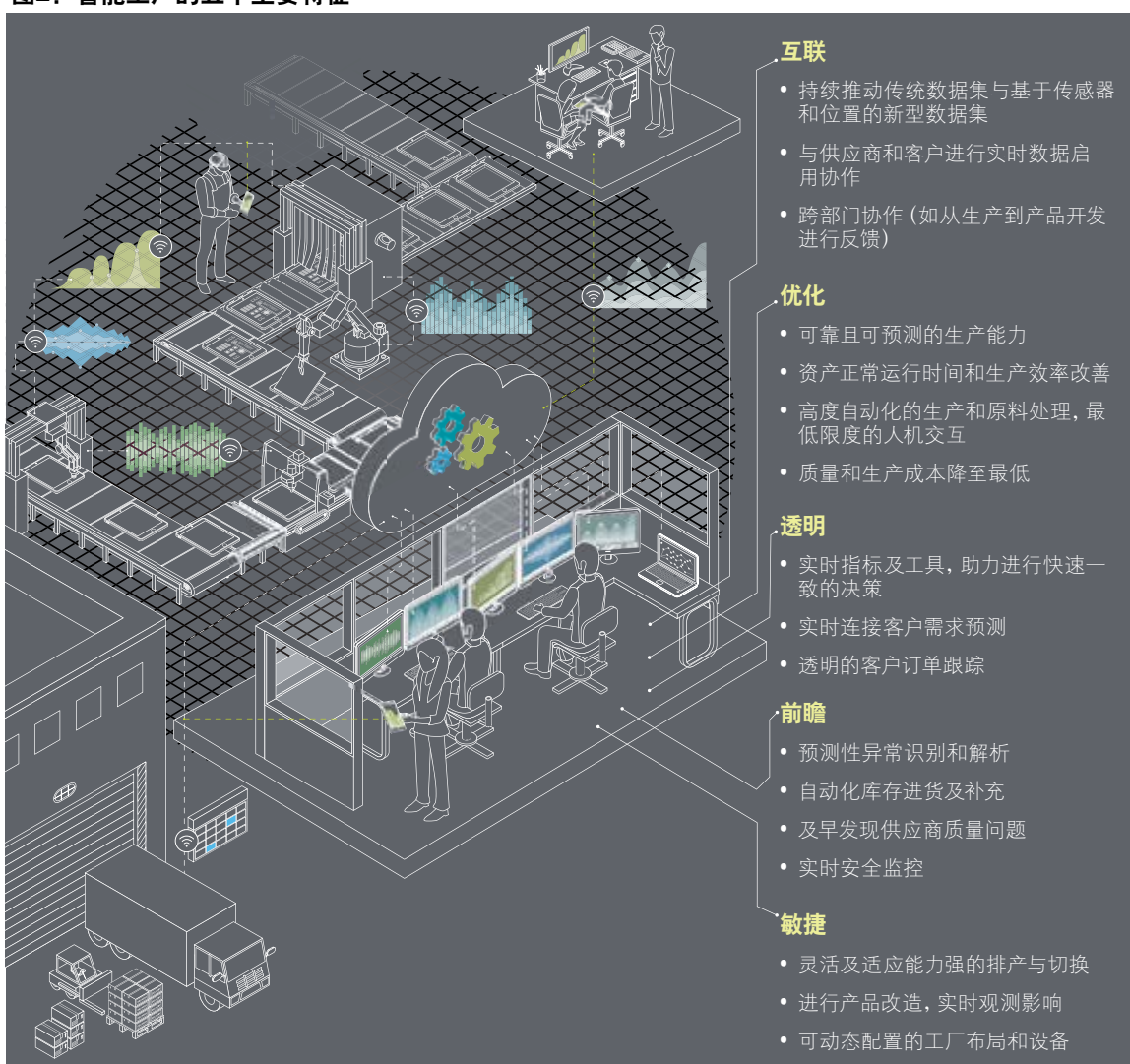
图2描述了智能工厂及其部分主要特征：互联、优化、透明、前瞻和敏捷。这些特征均有助于进行明智的决策，并协助企业改进生产流程。值得注意的是，世界上没有两个一模一样的智能工厂，制造企业可依据其特定需求，重点发展智能工厂的不同领域和特征。

互联或许是智能工厂最重要的特征，同时也是其最大的价值所在。智能工厂须确保基本流程与物料的互联互通，以生成实时决策所需的各项数据。在真正意义的智能工厂中，传感器遍布各项资产，因此系统可不断从新兴与传统渠道抓取数

据集，确保数据持续更新，并反映当前情况。通过整合来自运营系统、业务系统、以及供应商和客户的数据，可全面掌控供应链上下游流程，从而提高供应网络的整体效率。

经过**优化**的智能工厂可实现高度可靠的运转，最大程度上降低人工干预。智能工厂具备自动化工作流程，可同步了解资产状况，同时优化了追踪系统与进度计划，能源消耗亦更加合理，可有效提高产量、运行时间以及质量，并降低成本、避免浪费。

图2：智能工厂的五个主要特征



资料来源：德勤分析。

德勤大学出版社 | dupress.deloitte.com

智能工厂获取的数据公开**透明**：通过实时数据可视化，将从流程与成品或半成品获取的数据进行处理，并转变为切实可行的洞见，从而协助人工以及自动化决策流程。透明化网络还将进一步扩大对设备情况的认识，并通过基于角色的观点、实时警告与通知以及实时追踪与监控等手段，确保企业决策更加精准。

在一个**前瞻**型体系中，员工与系统可预见即将出现的问题或挑战，并提前予以应对，而非静待问题发生再作响应。这一特征包括识别异常情况，储备并补充库存，发现并提前解决质量问题⁹，以及监控安全与维修问题。智能工厂能够基于历史与实时数据，预测未来成果，从而提高正常运行时间、产量与质量，同时预防安全问题。在智能工厂中，制造企业可通过创建数字孪生等流程，实现数字化运营，在自动化与整合的基础上，进一步培养预测能力。¹⁰

智能工厂具备**敏捷**的灵活性，可快速适应进度以及产品变更，并将其影响降至最低。先进的智能工厂还可根据正在生产的产品以及进度变更，自动配置设备与物料流程，进而实时掌控这些变更

所造成的影响。此外，灵活性还促使智能工厂在进度与产品发生变更时，最大程度上降低调整幅度，从而提高运行时间与产量，并确保灵活的进度安排。

由于具备上述特征，制造企业可更加全面清晰地了解其资产与系统，有效应对传统工厂所面临的挑战，最终提高生产率，更加灵活地响应不断变化的供应商及客户情况。例如，一家服饰鞋品公司分别在欧洲与北美设立了全新智能工厂，以求解决制造企业经常面临的一些挑战，包括全球离散化生产以及日益变化的客户需求（参见边栏“智能工厂：为何今时今日？”）。传统工厂和供应链往往面临流行变化趋势所带来的诸多挑战。新型智能工厂通常设于客户所在地附近，因此可更快响应新兴趋势，并迅速为消费者提供鞋品——预计不到一周，相较之下，传统工厂则需两至三个月。两家智能工厂均运用了各种数字化与物理技术，包括数字孪生、数字设计、增材制造设备以及自动化机器人等。公司打算汲取最初两家智能工厂的经验，将这种模式推广至亚洲等其他地区的更多基地。¹¹

智能工厂：为何今时今日？

自动化与控制发展至今，已达数十年之久。然而，直到最近，智能工厂才获得关注，并成为制造企业切实追求的目标。以下五大主导趋势加快了智能工厂的发展：

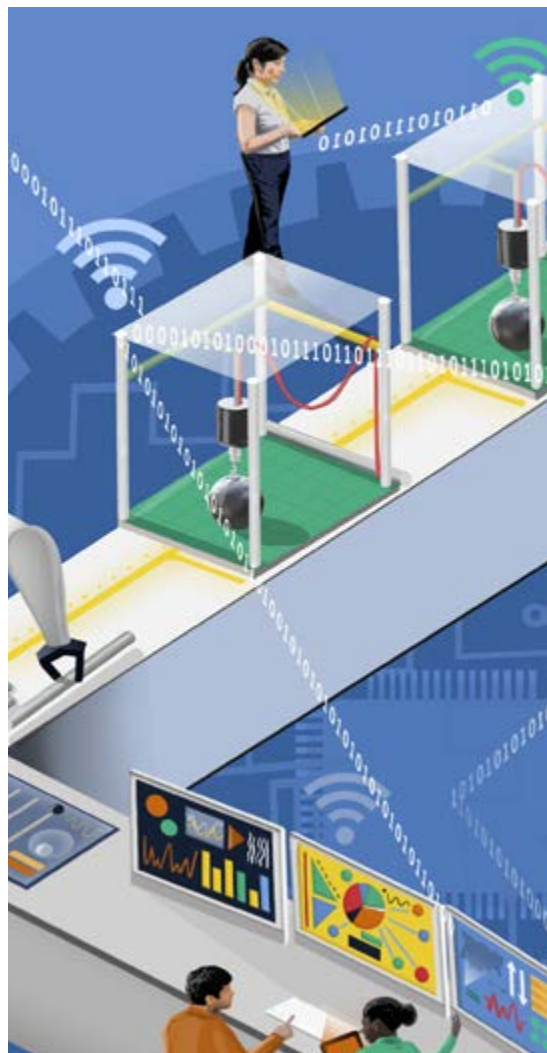
- 突飞猛进的技术能力
- 日益复杂的供应链与全球离散化生产及需求
- 与日俱增的竞争压力
- 基于信息技术与运营技术整合的组织结构调整
- 愈演愈烈的人才挑战，参见下文

突飞猛进的技术能力

不久之前，鉴于有限的数字技术能力，以及高昂的计算、存储与带宽成本，智能工厂的前景仍充满着不确定性。不过，近年来，由于上述难题迅速得以化解，在广泛网络中实现低成本高回报逐渐成为可能。¹²此外，技术能力本身变得日益复杂：随着人工智能、认知计算以及机器学习的发展，系统已能够解读、调整或学习互联设备所收集的数据。¹³具备了这种发展和适应的能力，并结合强大的数据处理与存储性能，制造企业不仅可实现任务自动化，更能处理高度复杂的互联流程。

日益复杂的供应链与全球离散化生产及需求

随着制造业的全球化进程加速提升，生产日益离散化，生产过程往往涉及不同地区多个设备及供应商。¹⁴与此同时，区域、本地以及个体的个性化需求渐增，加之不断变化的需求与日益稀缺的资源，供应链变得越加复杂。¹⁵鉴于上述变化，许多制造企业开始重视提升自身的敏捷、互联与前瞻能力，以有效应对不断变化的优先事项。



与日俱增的竞争压力

智能数字化技术的兴起催生了全新竞争者，他们可利用数字化与更低的门槛成本，在其从未涉足的全新市场与行业占据一席之地，而无须面对困扰既定竞争者的资产损耗以及对人力的依赖。

基于信息技术与运营技术整合的组织结构调整

工厂自动化决策通常围绕业务单元或厂房层面展开，因此需将整个制造网络的不同技术与能力加以整合。随着互联企业日益突破工厂内部而延伸至外部网络，对这些差异的认识也进一步加深。在信息技术与运营技术日益融合的背景下，企业得以将之前厂房层面的决策扩大至业务单元或企业层面。¹⁶这有助于发现效率低下的环节，或某个厂房的变化使其他设备的情况变得复杂。与此同时，这也促使智能工厂的概念更为现实，而不再是一个抽象的目标。虽然工厂内部互联互通的理念并不新鲜，但许多制造企业却长期裹足不前，不知道如何处理所收集的数据——换言之，他们不知道如何从信息中提取洞见并付诸实施。工业4.0推进了数字与物理技术的互联互通，为这一挑战提供了解决方案：企业不仅要培养数据收集能力，还须具备分析能力，进而在现实世界中付诸实施。¹⁷

愈演愈烈的人才挑战

如今，劳动力结构加速老化，就业竞争愈加激烈，喜爱或熟谙制造业的年轻劳动力日益匮乏，这些人才方面的挑战意味着传统制造企业越来越难以招募技术或非技术人才，以维持其有效运转。¹⁸德勤估计，未来十年，美国制造业将面临近200万的劳动力缺口。¹⁹许多企业纷纷投资智能工厂，以缓解未来可能普遍存在的劳动力短缺所带来的相关风险。²⁰然而，此举可能对人才结构产生新的影响，因为自动化资产往往需要专业技术人才进行操作和维护；²¹制造设备选址时也应考虑这些因素。



智能工厂的益处

智能工厂建设与扩张决策应与企业的具体需求相契合。企业建设或扩张智能工厂的原因往往千差万别，无法一概而论。然而，通过建设智能工厂，企业可大致解决资产效率、质量、成本、安全以及可持续性等问题。这些问题的解决将带来诸多益处，最终加快市场响应速度，扩大市场份额，提高利润率与产品质量，并稳定人才队伍。且不考虑商业动因，智能工厂建设能否得到采纳并持续吸引投资，取决于能否证明智能工厂投资将如何创造价值。

提高资产效率

智能工厂时刻生成海量数据，通过不断分析，揭示亟待修正与优化的资产绩效问题。诚然，自我修正是智能工厂与传统自动化的区别所在，将进一步提升整体资产效率，同时也是智能工厂最大的优势之一。资产效率的提升将缩短停工期、优化产能并减少调整时间，还将带来其他潜在益处。²²

提升质量

智能工厂具备自我优化的特征，可快速预测并识别质量缺陷趋势，并有助于发现造成质量问题的各种人为、机器或环境因素。这将降低报废率并

缩短交付期，提升供应率与产量。通过进一步优化质量流程，可打造更加优质的产品，减少缺陷与产品召回。²³

降低成本

经优化后的流程通常成本更低，可进一步预测库存要求，促成有效的招聘与人才决策，并减少流程与操作上的变动。更加优质的流程还有助于全面了解供应网络，迅速及时地响应采购需求，从而进一步降低成本。流程进一步优化后，产品质量亦将提升，同时可降低保修和维修成本。²⁴

保障安全与可持续发展

智能工厂还为员工福祉及环境可持续性带来实质性益处。由于智能工厂可提升操作效率，因此相较于传统的制造流程，更能降低对环境的影响，促进整体环境的可持续发展。²⁵流程自动化程度的进一步提升，将降低人为错误的可能性，包括减少行业事故造成的工伤。²⁶智能工厂基本能够自行运转，将有望取代人力完成部分重复乏味的工作。不过，在智能工厂中，工人将更大程度上承担判断与现场决策的职责，这将提升工人的工作满意度，并降低人员流失率。²⁷

智能工厂对制造流程的影响

制造企业可通过各种方法在工厂内外打造智能工厂，并调整配置，以顺应不断变化或全新涌现的优先事项。²⁸事实上，敏捷性是智能工厂最重要的特征之一，制造商可根据其特定需求，选择多种数字化及物理技术。

不同企业将在不同程度上受到智能工厂对其制造流程的影响。德勤已发现部分先进技术能够促进物理世界与数字世界间的信息流动与传递。²⁹这些技术推动了数字化供应网络甚至智能工厂的发展——为生产流程的数字化创造新的契机。表1列示了智能工厂的核心制造流程，以及各种数字与物理技术所带来的数字化机遇。

表1：智能工厂内部流程

流程	部分数字化应用
生产运营	<ul style="list-style-type: none">• 增材制造可快速生产产品原型或小批量零配件• 基于实时生产和库存数据的先进计划和排产，尽可能减少浪费，缩短周期• 认知机器人和自主机器人能够有效开展常规工作，尽可能节省成本，提高精确性• 数字孪生可实现运营数字化，并超越自动化和集成，开展预测性分析
仓储运营	<ul style="list-style-type: none">• 增强现实可协助工作人员挑选和安置任务• 自主机器人可开展仓库管理工作
库存跟踪	<ul style="list-style-type: none">• 传感器可追踪原材料、半成品、成品以及高价值模具的实时动向和位置• 分析可优化现有库存，并自动提醒补充库存
质量	<ul style="list-style-type: none">• 采用光学分析方法开展中期质量检测• 实时设备监控，预测潜在质量问题
维护	<ul style="list-style-type: none">• 增强现实可协助维修人员开展设备维修工作• 设备上的传感器有助于预测性和认知性维护分析
环境、健康与安全	<ul style="list-style-type: none">• 传感器可在危险设备靠近工作人员时发出警告• 工作人员身上的传感器可监测环境状况，确认是否正常运行或是否存在其他潜在威胁

资料来源：德勤分析。

德勤大学出版社 | dupress.deloitte.com

值得注意的是，上述数字化应用并不是互相排斥的。企业可以（也很可能会）针对各生产流程的多个领域采用数字化技术。企业也可根据实际需要，分阶段采用和停用数字化技术，凸显了数字化工厂灵活、可重构的特性。

制造企业须了解如何在竞争中脱颖而出，实现数字化和智能工厂投资的有效结合。例如，部分制造企业可能计划在速度、质量和成本方面争取竞争优势，在智能工厂投资方面着眼于以更快的速度向市场推出全新产品（以及实施产品改造），提升质量，降低单位成本。而其他一些制造企业则可能侧重于“最小生产批量”产品的定制和完成模式，通过投资其他技术实现上述目标。



建设智能工厂需考虑的要素

智能工厂没有唯一结构。同样，成功打造智能工厂也没有唯一途径。由于生产线布局、产品、自动化设备等方面的差异性，每家智能工厂看起来都可能不尽相同。然而，虽然各项设施本身可能存在差异，但促成一家智能工厂获得成功的必要元素却大致相同，而且每个都很重要，包括数据、技术、流程、人员和安全。制造企业可根据所设定的目标确定重点投资领域。

数据与算法

数据是智能工厂的命脉。基于系统性分析，数据将有助于推动各流程顺利开展，检测运营失误，提供用户反馈。当规模和范围均达到一定水平时，数据便可用于预测运营和资产利用效率低下的问题，以及采购量和需求量的变动。³⁰智能工厂内部数据可以多种形式存在，且用途广泛，例如与环境状况相关的离散信息，包括湿度、温度或污染物。数据的收集和处理方式，以及基于数据采取相应行动才是数据发挥价值的关键所在。³¹要实现智能工厂的有效运作，制造企业应当采用适当的方式持续创建和收集数据流，管理和储存产生的大量信息，并通过多种可能比较复杂的方式分析数据，且基于数据采取相应行动。

要建立更加成熟的智能工厂，所收集的数据集可能会随着时间的推移涉及越来越多的流程。例如，如果要对某一次实践结果加以利用，就需要收集和分析一组数据集。而如果要对更多的实践结果加以利用或从某一次实践操作上升至整个行业，就需要收集和分析更多不同的数据集和数据类型（结构化相对非结构化），还需考虑数据分析和存储，以及数据管理能力。³²

数据也可能代表数字孪生，这是高度成熟的智能工厂结构具备的特征。数字孪生通过数字化形式，以较高的水平呈现某对象或流程过去及当前的行为。数字孪生需针对生产、环境和产品情况持续

开展实际的数据测量。基于强大的处理能力，数字孪生可从产品或系统情况中获取重要信息，反映现实世界中设计与流程的变化。³³

技术

智能工厂的有效运作有赖于各类资产的相互关联和中央控制系统的集中控制。工厂资产即工厂设备，如原料处理系统、工具、泵、阀门等。制造执行系统或数字化供应网络堆栈均属中央控制系统。数字化供应网络堆栈是一个多层次集成枢纽，是全面获取智能工厂和广泛的数字化供应网络数据的唯一入口。该系统通过收集和综合信息，为决策制定提供支持。³⁴但各企业也需考虑其他技术，包括交易和企业资源规划系统、物联网以及分析平台，同时也应当考虑边缘加工和云存储等需求。这就需要企业运用工业4.0时代所特有的各类数字化和物理技术——包括分析技术、增材制造、机器人技术、高性能计算、人工智能、认知技术、高级材料以及增强现实——将不同资产和设备关联起来，对数据加以处理，实现经营活动的数字化。³⁵

流程与管理

智能工厂最重要的特征之一是其自优化、自适应以及生产过程自动化的能力。该特征能够从根本上改变传统流程和管理模式。自主系统能够在没有人工参与的情况下制定并实施许多决策，并在诸多情况下将制定决策的责任从人工转移到了机器，或者说仅由少数人制定决策。此外，智能工厂的互联范围也将有可能扩展到工厂以外，工厂与供应商、客户以及其他工厂的关联度将进一步增强。³⁶该等类型的协作也可能会引发新的流程和管理模式问题。随着对工厂更加深入和全面的了解，以及生产和供应网络的扩大，制造企业也可能面临各种不同的新问题。企业可能需考虑和重新设计决策制定流程，以适应新的转变。

人员

智能工厂并不一定会成为“黑灯工厂”，人员仍将是工厂运营的关键。但智能工厂可能会在运营以及信息技术/运营技术组织架构方面发生重大变化，导致人员职位出现变动，从而适应新的流程和功能。³⁷正如前文所说，一些职位由于可能被机器人（物理和逻辑）、流程自动化以及人工智能取代，因此已没有存在的必要。而其他一些职位的功能可能会因虚拟/增强现实以及数据可视化等新技术的加持而得以增强。人员和流程管理变革离不开灵活、适当的变革管理方案。³⁸组织变革管理将对采用智能工厂解决方案发挥重要作用。员工能够保持积极的工作状态，相信自己能够通过所在职位创造更大价值；工厂能够采取创新的招聘方式，并且重视跨部门职位，这都是打造成功智能工厂的必备条件。³⁹

智能工厂并不一定会成为“黑灯工厂”，人员仍将是工厂运营的关键。

网络安全

互联互通是智能工厂的本质特征。因此，相比传统的生产设施，智能工厂面临更大的网络安全风险。智能工厂应将网络风险纳入整体架构设计考虑范围内。在一个全面互联的环境中，由于连接点众多，网络攻击的影响范围将会扩大，预防难度也会增加。通常只有在智能工厂规模扩大，互联范围扩展到工厂以外，覆盖到供应商、客户以及其他工厂之时，网络安全风险才会增加。制造企业从一开始就应该将网络安全视为智能工厂战略的首要考虑因素之一。⁴⁰

着手建设智能工厂

踏出最初的第一步可能会很艰难。智能工厂几乎可以采用任何结构，因此打造智能工厂也会有许多不同的途径。企业可根据自身情况以及所面临的挑战或机遇制定和实施计划。制造企业在着手打造智能工厂时可参考以下步骤：

大处着眼、小处着手、迅速推广

智能工厂投资往往始于对特定机遇的关注。一旦确定机遇，便可实施数字化，制定发展战略，并据此采取行动，进而创造新的价值。但智能工厂的建立和规模的扩大都如智能工厂本身的概念一样灵活。制造企业可在其网络的任一层次开始建造真正的智能工厂，价值创造可以从单个资产开始，并逐步扩展，同时采用灵活的方法产生更大的价值。

事实上，从小处着手，在可控环境下检测理念，并推广所获得的经验，可达到更加理想的效果。一旦实践成功，便可将解决方案推广到其他资产、生产线和工厂，从而有机会创造巨大价值（图3）。

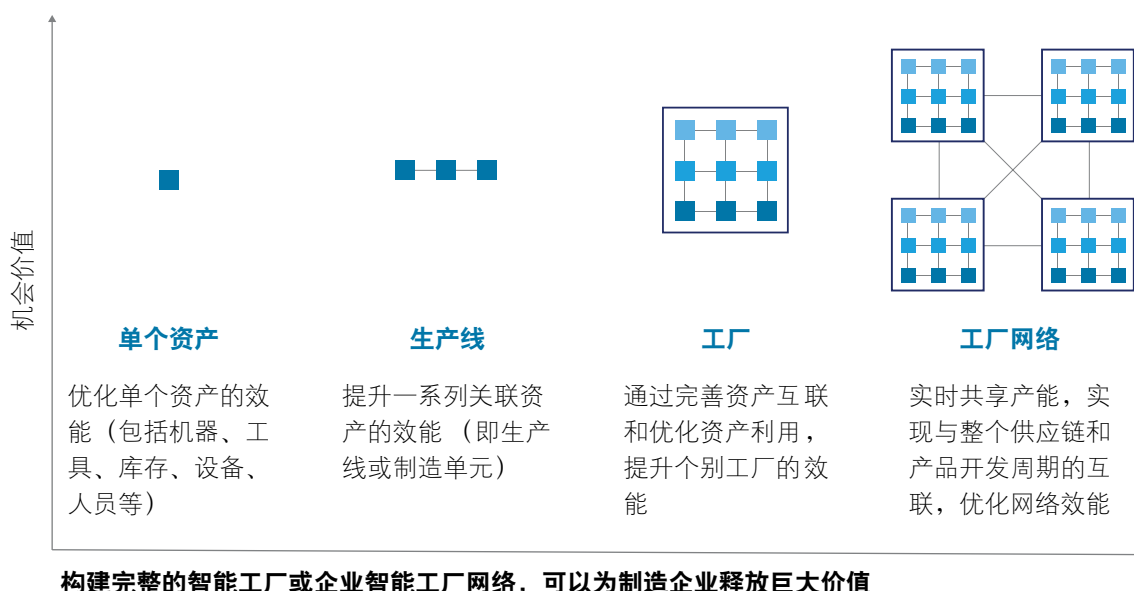
立足工厂的实际需求

企业的生产策略和环境决定该企业需要解决哪些具体问题，以及从智能工厂方案中释放价值的方式。根据不同的情景和状况调整方法，有助于确保所建立的智能工厂符合制造企业的需求。

不可局限于技术层面

要建设智能工厂，仅实现资产之间的互联还不够。制造企业还需开发存储、管理、分析数据以及根据数据采取行动的方法。此外，企业还需合适的

图3：小处着手并迅速释放价值



资料来源：德勤分析。

德勤大学出版社 | dupress.deloitte.com

人才推动智能工厂建设，同时也需确立适当的流程。智能工厂建设需要获得解决方案设计、技术以及变革管理层面的转型支持。

跳出思维局限

正如上文所说，智能工厂解决方案是一套整体方案，结合了工厂内部和整个数字化供应链的相关要素。因此，为了达成最佳效果，开展智能工厂建设的企业应当从一开始就将各方供应链合作伙伴和客户纳入考虑范围。在某一节点或针对某一利益相关方采取的行动可能会影响到其他节点或利益相关方。

智能工厂还远未达到“终极形态”，而是一个不断演变的解决方案——一个不断挖掘灵活性、互联性和透明度等众多特性的解决方案。从较高层面来看，智能工厂具有动态特性，因此建设智能

智能工厂还远未达到“终极形态”，而是一个不断演变的解决方案——一个不断挖掘灵活性、互联性和透明度等众多特性的解决方案。

工厂需要一直保持创造性思维：构想智能工厂解决方案中貌似合理的无数结构的可能性。通过投资建设智能工厂，制造企业可以在一个更加复杂和快速变化的生态体系中脱颖而出，并实现效率效能的提升。

尾注

1. Learn about Industry 4.0 at <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0.html>.
2. Shiyong Wang et al., "Implementing smart factory of Industrie 4.0: An outlook," *International Journal of Distributed Sensor Networks* (2016), <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2016/3159805>.
3. Agnieszka Radziwona et al., "The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions," *Pro-cedia Engineering* 69 (2014): pp. 1184–90, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814003543>.
4. Adam Mussomeli, Stephen Laaper, and Doug Gish, *The rise of the digital supply network: Industry 4.0 enables the digital transformation of supply chains*, Deloitte University Press, December 1, 2016, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/digital-transformation-in-supply-chain.html>.
5. Brenna Sniderman, Monica Mahto, and Mark Cotteleer, *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises*, Deloitte University Press, February 22, 2016, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises.html>.Ibid.
6. Ibid.
7. Germany Trade and Invest, *Smart factory*, <https://industrie4.0.gtai.de/INDUSTRIE40/Navigation/EN/Topics/Indus-trie-40/smart-factory.html>, accessed August 18, 2017.
8. Yoon Sung-won, "Samsung expediting smart factory for home appliances," *Korea Times*, April 19, 2017, <http://www.koreatimes.co.kr/www/common/vpage-pt.asp?categorycode=133&newsidx=227896>.
9. Chris Coleman et al., *Making maintenance smarter: Predictive maintenance and the digital supply network*, Deloitte University Press, May 9, 2017, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/using-predictive-technologies-for-asset-maintenance.html>.
10. Aaron Parrott and Lane Warshaw, *Industry 4.0 and the digital twin: Manufacturing meets its match*, Deloitte University Press, May 12, 2017, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/using-predictive-technologies-for-asset-maintenance.html>.
11. "Adidas's high-tech factory brings production back to Germany: Making trainers with robots and 3D printers," *Economist*, January 14, 2017, <http://www.economist.com/news/business/21714394-making-trainers-robots-and-3d-printers-adidass-high-tech-factory-brings-production-back>.
12. Mussomeli, Laaper, and Gish, *The rise of the digital supply network*.
13. Guha Ramasubramanian, "Machine learning is revolutionizing every industry," *Observer*, November 28, 2016, <http://observer.com/2016/11/machine-learning-is-revolutionizing-every-industry/>.
14. R. Hadar and A. Bilberg, "Glocalized manufacturing: Local supply chains on a global scale and changeable technologies, flexible automation, and intelligent manufacturing," presented at FAIM 2012, Helsinki, June 10–13, 2012.
15. Ibid.
16. Sniderman, Mahto, and Cotteleer, *Industry and manufacturing ecosystems*.
17. Ibid.
18. Alexia Elejalde-Ruiz, "Manufacturing's big challenge: Finding skilled and interested workers," *Chicago Tribune*, December 17, 2016, <http://www.chicagotribune.com/business/ct-manufacturing-talent-gap-1218-biz-20161217-story.html>.

19. Deloitte, *Manufacturing USA: A third-party evaluation of program design and progress*, January 2017, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-manufacturing-USA-program-and-process.pdf>.
20. Reuters, "Mid-sized Japanese firms invest in robots and automation due to labor shortage," *VentureBeat*, May 15, 2017, <https://venturebeat.com/2017/05/15/mid-sized-japanese-firms-invest-in-robots-and-automation-due-to-labor-shortage/>.
21. Association of German Engineers and American Society of Mechanical Engineers, *A discussion of qualifications and skills in the factory of the future: A German and American perspective*, April 2015, http://www.vdi.eu/fileadmin/vdi_de/redakteur/karriere_bilder/VDI-ASME__2015__White_Paper_final.pdf.
22. Jay Lee, Behrad Bagheri, and Hung-An Kao, "A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems," *Manufacturing Letters*, January 2015, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X>.
23. ROI, *Inside the smart factory: How the Internet of Things is transforming manufacturing*, http://www.roi-international.com/fileadmin/ROI_DIALOG/ab_DIALOG_44/EN-ROI-DIALOG-49_web.pdf, accessed August 18, 2017.
24. Christoph Jan Bartodziej, *The Concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics* (Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2017), DOI:10.1007/978-3-658-16502-4.
25. Ibid.
26. Sang Il Park and Seouk Joo Lee, "A study on worker's positional management and security reinforcement scheme in smart factory using Industry 4.0-based Bluetooth beacons," *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*, November 2016, pp. 1059–66, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-3023-9_164.
27. Hannele Lampela et al., *Identifying worker needs and organizational responses in implementing knowledge work tools in manufacturing*, 2015, <http://facts4workers.eu/wp-content/uploads/2017/01/FACTS4WORKERS-ILERA-2015-paper1.pdf>.
28. H. A. El Maraghy, "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms," *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 17, no. 4 (2005): pp. 261–276.
29. For further information and a more complete list of digital and physical technologies and their applications, see Sniderman, Mahto, and Cotteleer, *Industry and manufacturing ecosystems*; and Mussomeli, Laaper, and Gish, *The rise of the digital supply network*.
30. Jay Lee, Edzel Lapira, and Hung-an Kao, "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment," *Manufacturing Letters* 1, no. 1 (2013): pp. 38–41.
31. Michael Raynor and Mark Cotteleer, "The more things change: Value creation, value capture, and the Internet of Things," *Deloitte Review* 17, Deloitte University Press, July 27, 2015, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/deloitte-review/issue-17/value-creation-value-capture-internet-of-things.html>.
32. Shen Yin and Okyay Kaynak, "Big data for modern industry: Challenges and trends," *Proceedings of the IEEE* 103, no. 2 (2015).
33. Parrott and Warshaw, *Industry 4.0 and the digital twin*.
34. Mussomeli, Laaper, and Gish, *The rise of the digital supply network*.
35. For further information about digital and physical technologies, and their role in manufacturing and the digital supply network, see Sniderman, Mahto, and Cotteleer, *Industry and manufacturing ecosystems*; and Mussomeli, Laaper, and Gish, *The rise of the digital supply network*.

36. F. Shrouf, J. Ordieres, and G. Miragliotta, "Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm," 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, December 2014.
37. CRO Forum, *The smart factory—Risk management perspectives*, December 2015, <https://www.thecroforum.org/wp-content/uploads/2016/01/CROF-ERI-2015-The-Smart-Factory1-1.pdf>.
38. Jeff Schwartz et al., "The future of work: The augmented workforce," *2017 Global Human Capital Trends*, Deloitte University Press, February 28, 2017, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/human-capital-trends/2017/future-workforce-changing-nature-of-work.html>.
39. Bill Pelster et al., "Careers and learning: Real time, all the time," *2017 Global Human Capital Trends*, Deloitte University Press, February 28, 2017, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/human-capital-trends/2017/learning-in-the-digital-age.html>.
40. René Waslo et al., *Industry 4.0 and cybersecurity: Managing risk in an age of connected production*, Deloitte University Press, March 21, 2017, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/cybersecurity-managing-risk-in-age-of-connected-production.html>.

德勤中国联系人

董伟龙

工业产品与服务行业领导人

电子邮件: rictung@deloitte.com.cn

薛梓源

科技风险咨询服务领导合伙人

电子邮件: tonxue@deloitte.com.cn

周令坤

管理咨询合伙人

电子邮件: andyzhou@deloitte.com.cn

管延放

管理咨询合伙人

电子邮件: alvinguan@deloitte.com.cn

刘浩

管理咨询总监

电子邮件: haoliu@deloitte.com.cn

陈隽伟

管理咨询总监

电子邮件: kevinjwchen@deloitte.com.cn

Deloitte. University Press

关于德勤大学出版社

德勤大学出版社出版了为企业、公共部门和非政府组织的见解原创文章，报告和期刊。我们的目标是从我们整个的专业服务机构在研究和经验可供借鉴，而且在学术界和商界共同作者，来推进对感兴趣的高管和政府领导人的议题广泛交谈。德勤大学出版社是德勤咨询的印记。

关于德勤全球

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司（即根据英国法律组成的私人担保有限公司，以下称“德勤有限公司”），以及其成员所网络和它们的关联机构。德勤有限公司与其每一家成员所均为具有独立法律地位的法律实体。德勤有限公司（又称“德勤全球”）并不向客户提供服务。请参阅www.deloitte.com/cn/about 以了解更多有关德勤有限公司及其成员所的详情。

德勤为各行各业的上市及非上市客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务及相关服务。德勤透过遍及全球逾150个国家与地区的成员所网络为财富全球500强企业中的80%左右的企业提供专业服务。凭借其世界一流和高质量的专业服务，协助客户应对极为复杂的商业挑战。如欲进一步了解全球大约263,900名德勤专业人员如何致力成就不凡，欢迎浏览我们的Facebook、LinkedIn 或Twitter专页。

关于德勤中国

德勤于1917年在上海设立办事处，德勤品牌由此进入中国。如今，德勤中国的事务所网络在德勤全球网络的支持下，为中国本地和在华的跨国及高增长企业客户提供全面的审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询和税务服务。德勤在中国市场拥有丰富的经验，同时致力于中国会计准则、税务制度及培养本地专业会计师等方面的发展作出重要贡献。敬请访问 www2.deloitte.com/cn/zh/social-media，通过德勤中国的社交媒体平台，了解德勤在中国市场成就不凡的更多信息。

本通信中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其成员所或它们的关联机构（统称为“德勤网络”）并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。任何德勤网络内的机构均不对任何方因使用本通信而导致的任何损失承担责任。

©2018。欲了解更多信息，请联系德勤中国。
CQ-001CN-18



这是环保纸印刷品