

Deloitte.
University Press



工业4.0与制造业生态圈
探索互联企业世界

关于作者

Brenna Sniderman

Brenna Sniderman 是德勤综合研究中心下属机构 Deloitte Services LP 的高级经理。她专注于研究制造业先进技术的应用问题，及其对业务增长的影响。

Monika Mahto

Monika Mahto 是 Deloitte Services India Pvt. Ltd 的助理经理，也是德勤声誉卓越中心的成员。过去七年来，她一直专注于研究制造业以及消费品行业相关先进技术的战略影响。

Mark J. Cotteleer

Mark J. Cotteleer 是德勤综合研究中心下属机构 Deloitte Services LP 的研究总监。他专注于研究运营及财务表现的提升，特别是借助于先进技术。

致谢

感谢 Deloitte Consulting LLP 的 **Steve Shepley** 和 **Alan Brady** 为本文提供的帮助。

Deloitte Consulting LLP 的供应链与制造运营服务组助力企业了解并把握机遇，以利用工业 4.0 技术实现商业目标。我们凭借对增材制造、物联网及分析学的洞见，依据日新月异的先进制造业实践，协助企业重新评估其员工、流程与技术。

目录

引言	2
迈向新世界 工业 4.0 的定义	3
整合数字和物理世界以实现商业目标	8
拓展业务 利用工业 4.0 创造收入	10
经营业务 利用工业 4.0 技术提高生产力并降低风险	13
未来展望	16
结论	17
尾注	18

引言

“工业 4.0 将嵌入式系统生产技术与智能生产过程连接起来，从而开启了一个全新的技术时代，并将给行业、生产价值链以及商业模式带来重大转变。”

——德国联邦外贸与投资署¹

制造商面临着诸多方面的挑战。以增材制造、先进材料、智能化、自动化机器及其他技术为主要形式的先进制造业正开启崭新的物质生产时代。²与此同时，物联网增强了互联性，并使数据收集与分析能力进一步复杂化，从而促成了向信息经济的转变。借助物联网，数据成为除物品外的另一价值来源，并可通过互联打造更加智能化的供应链、制造工艺、甚至端到端生态圈。³

由于上述种种变化仍在改变竞争格局，制造商必须决定如何投资以及投资哪些新技术，并找出哪些技术可为公司带来最大利益。除了准确评估当前的战略定位，卓有所成的制造商还需确定清晰的商业目标，明确其在新兴技术生态圈中的定位，以及运用哪些物理和数字技术来制定如何胜出的决策（同等重要）。⁴

然而，知之非难，行之不易。虽然关于先进数字化以及物理技术的宣传铺天盖地，人们的理解大多流于表面。⁵许多利益相关者同样也不清楚互联对其公司以及更广泛的制造业生态圈而言意味着什么。⁶

不过，可以确定的是，低估信息流对先进制造业物理层面的影响实非明智之举。为了充分把握数字与物理两个层面的机会，将两者进行整合至关重要——运用不同来源不同地点的数字化信息推动实体制造。换言之，通过整合信息技术与操作技术，形成更加强大的制造企业——这即是所谓的工业 4.0。⁷工业 4.0 又称

智能制造或制造 4.0，其标志是连接方式转变为由物理到数字再到物理。

德勤用“工业 4.0”指代智能化互联制造业，针对该现象的其他常见术语还包括：

- 工业互联网
- 互联企业
- 智能制造
- 智能工厂
- 制造业 4.0
- 万物互联
- 制造业物联网

本报告所提供的观点可帮助制造商展望工业 4.0 的未来。为此，我们借助德勤提出的“信息价值环”（IVL），探究了智能生产与互联供应链中的信息流，其中互联供应链系指可识别并协调制造、分销及售后程序的系统。随后探讨了“信息价值环”对制造业价值链的影响。本文余下部分将：

- 解读“工业 4.0”，追溯其渊源并探讨该概念的外延拓展
- 探究德勤“信息价值环”框架的基本构成及其与工业 4.0 之间的关系
- 明确拓展业务与经营业务两大战略领域以及六大转型要素，助力制造业利用工业 4.0 技术把握重要机遇
- 指出部署工业 4.0 的重要挑战

迈向新世界

工业4.0的定义

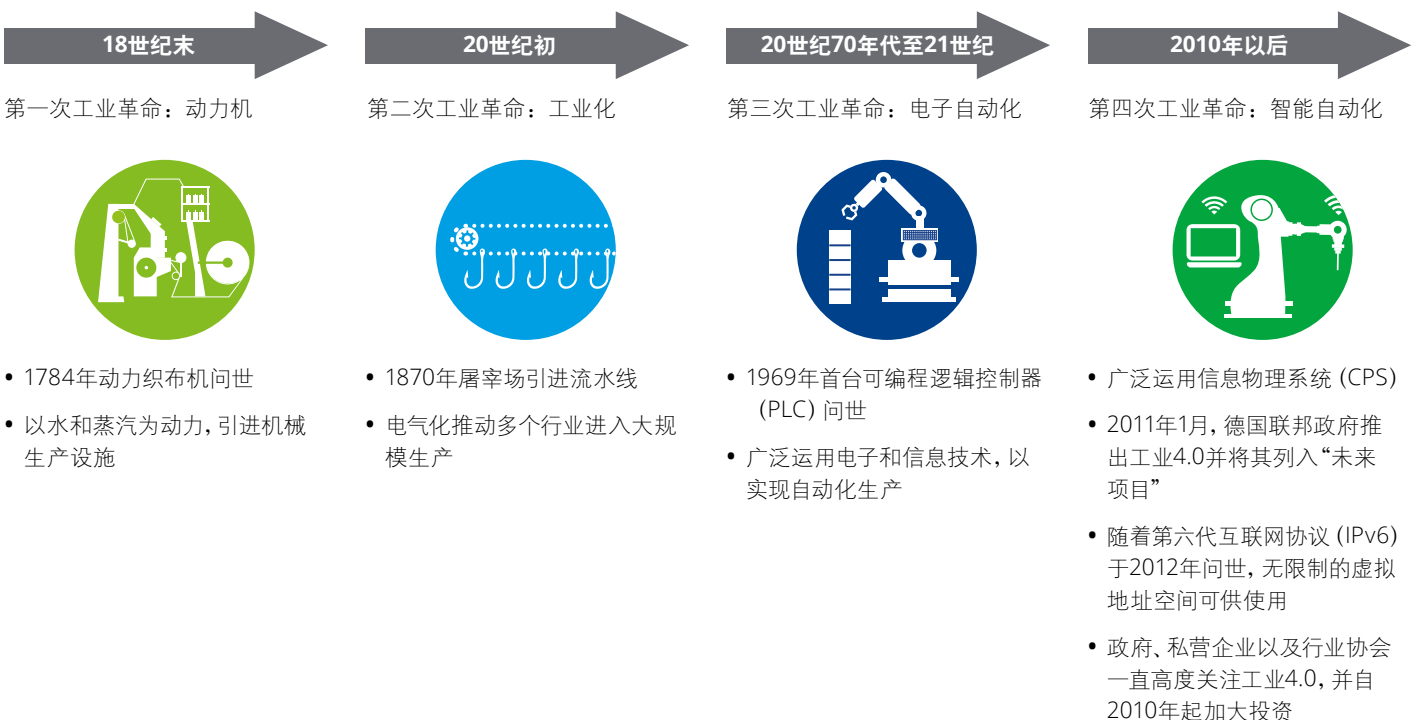
层出不穷的互联智能技术可运用于生产，并带来革新。植根于这一理念，工业 4.0 应运而生，它预示着新一轮工业革命即将到来，同时将成为制造业史上的第四次转型（参见图 1 了解工业革命概览）。⁸

“工业 4.0”一词最早出现于 2011 年的汉诺威工业博览会上，德国联邦政府为此成立了工业 4.0 工作组，并将工业 4.0

纳为研究议题。⁹德国联邦外贸与投资署将工业 4.0 定义为：

“因技术进步颠覆传统生产过程逻辑而促成的一种范式转变。简而言之，工业 4.0 意味着不再只是由工业生产机器来‘加工’产品，而是由产品与机器沟通并告诉机器如何操作。”¹⁰

图1 工业革命的历史进程：工业演化过程与重大发展事件



资料来源：德国联邦外贸与投资署，《工业 4.0——未来智能制造》，2014 年 7 月 1 日；德国国家科学与工程院，《保障德国制造业的未来：关于实施“工业 4.0”战略的建议》，2013 年 4 月；德勤分析。
图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

此外德国联邦外贸与投资署表示工业 4.0 代表了一种“连接嵌入式生产技术和智能生产流程”的方法，即“从嵌入式系统向信息物理系统的技术发展”¹¹。换言之，工业 4.0 不仅将制造系统及其创造的物品简单连接起来，将物理信息引入数字领域，还沟通、分析并运用这些信息为物理世界创造更多的智能行为，实现一种物理到数字再到物理的转变。

为了阐明工业 4.0 概念，德国联邦外贸与投资署援引了信息物理系统的概念——即连接数字和物理世界的技术，¹² 尤其是通过附在实体设备上的传感器和收集结果数据的网络技术。¹³ 这与我们通常提及的物联网概念非常相似。¹⁴

德勤同意德国联邦外贸与投资署的定义，并认为明确这些促进实体控制技术的作用，能够提升工业 4.0 概念的价值。制造行业领袖必须明白工厂的控制系统与制造执行系统（即操作技术），与同步各职能体系的一般企业职能和能力（即信息技术），是如何在创造巨大机遇和改变业务的过程中共同发展的。理解各类信息技术如何与物理世界相互影响以推动创新是一个良好的开端。

互联、信息和行动：信息价值环和工业 4.0
制造业所固有的流程包括信息创建、沟通和行动。尽管产出的是物品，但制造业却必然始于信息：一项设计需要经历绘制图纸、设计软件或扫描物品以及创建数据的过程。¹⁵ 之后这些数据将被传达给实施设计的机器，从而将数字形式的设计带到物理世界。理论上讲，可从创建过程（以及之后的使用环节）继续



明确那些促进实体控制技术的作用，能够提升工业 4.0 概念的价值。

获取数据，激发数字世界和物理世界的持续循环。由此工业 4.0 的概念与物联网的重叠变得明显起来。

物联网是工业 4.0 关键或者最关键的要素。¹⁶ 由于互联在创建产品和服务以及提升客户满意度方面的重要性得到广泛了解，近年来物联网大受欢迎。¹⁷ 目前，大量联网技术正在快速发展，包括优质传感器，更加可靠完善的网络、高性能计算、机器人技术、人工智能和认知技术以及增强现实。¹⁸ 总的来看，这些技术将为制造业带来深刻变化。我们分析结果信息流，帮助概括了解活动的序列

与级数，公司可利用这些信息，即物联网信息价值环，创造价值（参见图 2）。

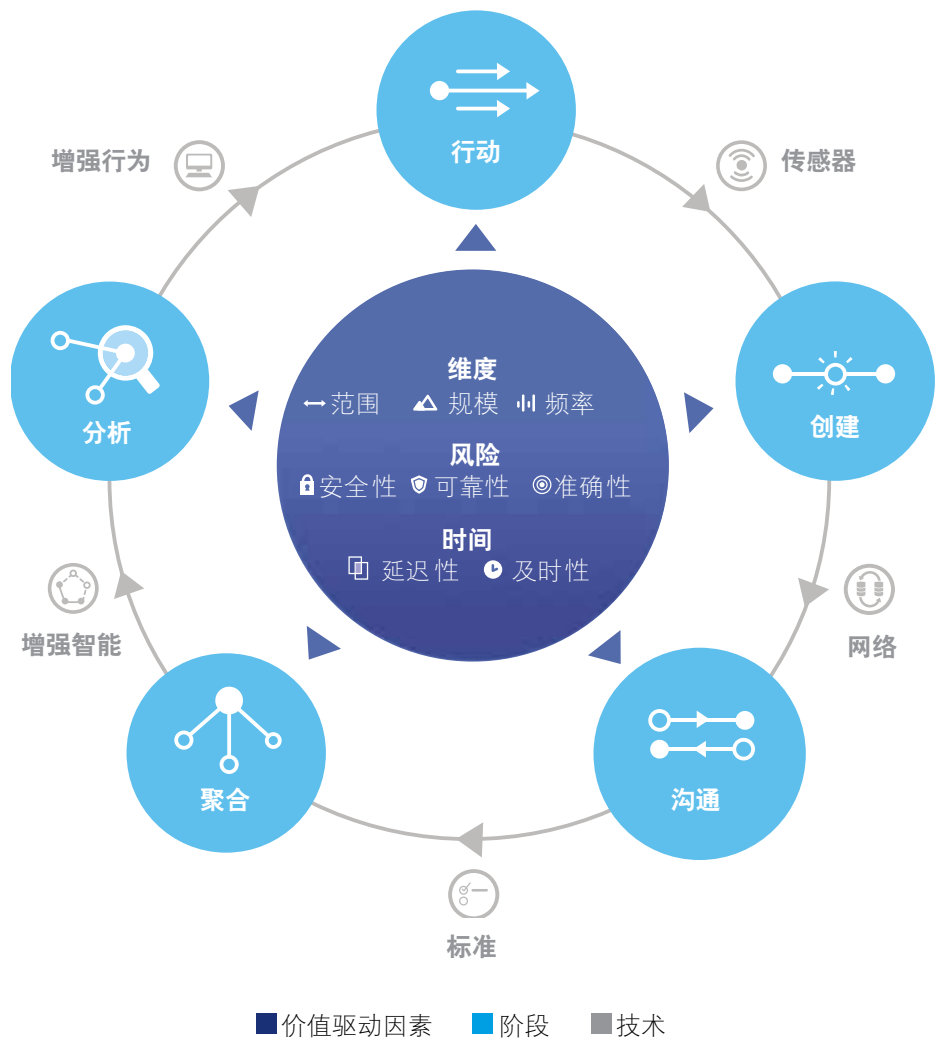
信息价值环以行动开始。为了了解未来的行动，衡量物理世界中事物的状态或行为能够创造随后用于沟通、聚合和分析（贯穿信息价值环的各阶段）的信息。在普通的物联网情境中，信息的价值因与之相关的维度、风险和时间特征而不同。¹⁹ 所以，通过发展数字技术创建及 / 或控制信息流具有战略意义。因此企业将经常需要决定如何定位以及如何取胜。

德勤已对物联网的影响以及信息流如何帮助公司创造并获取价值作了深度研究和分析。敬请访问：

<http://dupress.com/collection/internet-of-things/>，阅读全系列，了解更多关于信息价值环、信息环各阶段功能和价值驱动因素的信息，以及其不同领域和情境中的应用。

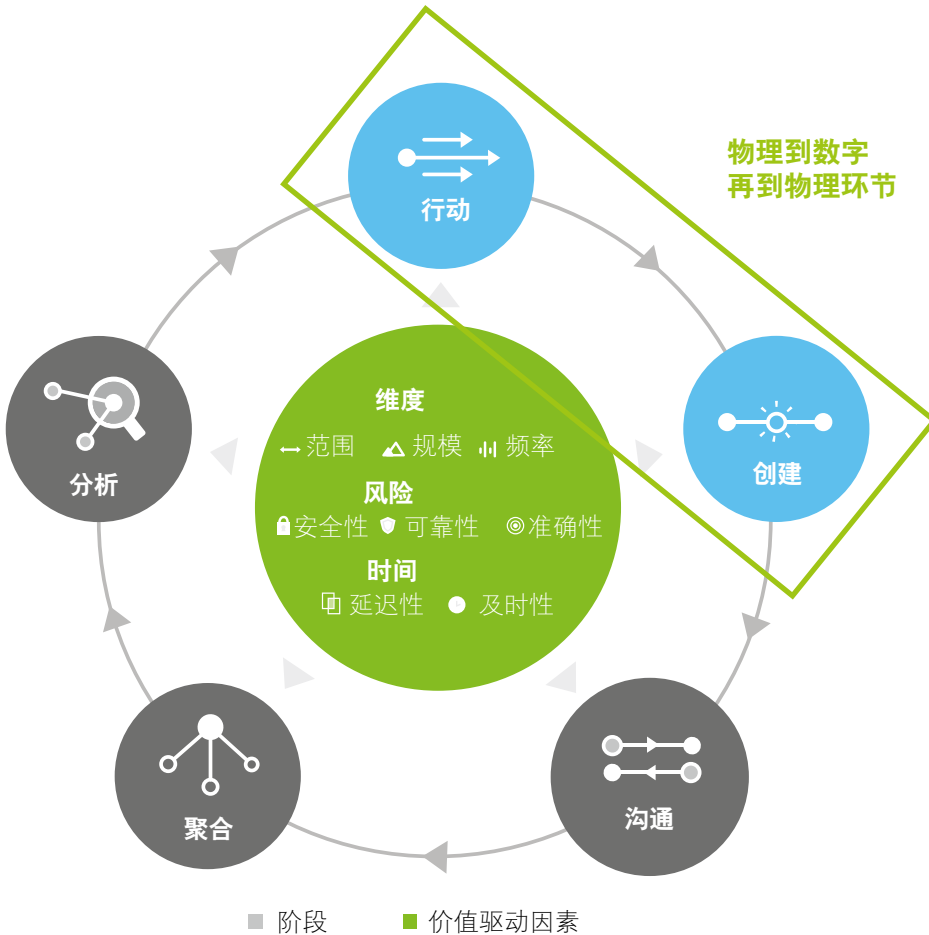
正是从数字回到物理——从互联的数字技术到物品的创造——的飞跃构成了工业 4.0 概念的本质。

图2 信息价值环



资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

图3 工业4.0物理到数字再到物理的飞跃



资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

工业4.0 概念基于信息价值环中行动与创建阶段的关系，包含并延伸了物联网。即物理到数字以及数字到物理的飞跃，在一定程度上是制造业流程所特有的（图3）。正是从数字回到物理——从连接的数字技术到物品的创造——的

飞跃构成了工业4.0概念的本质。²⁰这就是我们将重点分析的领域。工业4.0代表了物联网和相关物理技术的融合，包括分析、增材制造、机器人技术、高性能计算、人工智能、认知技术、先进材料和增强现实，²¹完成了物理到数字再到

物理的循环。根据其在制造业价值链的不同节点选择应用的技术，制造行业的领袖们有机会制定出更好的经营战略，以实现重要的商业目标。表1概述了工业4.0中物理到数字再到物理方面的一些技术。

了解更多有关以下及其他先进互联技术的信息，敬请访问德勤大学出版社的系列出版物：

- 物联网：<http://dupress.com/collection/internet-of-things/>
- 增材制造：<http://dupress.com/collection/3d-opportunity/>
- 分析：<http://dupress.com/collection/analytics-emerging-technologies/>
- 认知技术和人工智能：<http://dupress.com/collection/cognitive-technology/>

表1 工业4.0技术²²

产品影响	信息技术/操作技术的潜在应用
物理 → 数字	<ul style="list-style-type: none"> • 传感器与控制措施 • 可穿戴设备 • 增强现实
数字	<ul style="list-style-type: none"> • 信号聚合 • 优化及预测 • 可视化及终端交付 • 认知及高性能计算
数字 → 物理	<ul style="list-style-type: none"> • 增材制造 • 先进材料 • 自控机器人技术 • 数字设计和仿真

资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com



整合数字和物理世界以实现商业目标

在我们探索信息如何创造价值时，从实体角度理解制造业中的价值创造非常重要。以产品和服务的形式创造价值形成了制造业价值链的概念：即企业通过一系列活动将输入转化为输出，最终销售、交付并持续支持为客户提供输出。需要注意的是，与信息价值环相比，我们通常认为制造业的价值链是线性的，关注物品的生产。我们假设用工业4.0技术强化价值链，使其他节点获取各阶段生成的信息，让这个线性结构更有活力，并形成一个信息循环反馈环。

在整个制造业价值链中，从设计、开发到制造、销售和服务，信息技术和操作技术的融合可以带来业务成果。广义上来说，我们确定了制造商的两项业务目标：经营业务与拓展业务。这两个目标还涵盖了四个核心目标：生产力、风险控制、增量收入和新收入。其下还有无数的次级目标（例如，可参见表2），这些目标明确了管理人员实现价值的战略方法。正如我们讨论的一样，工业4.0技术能更加容易地解决一些问题，而其他的问题也可以通过更加传统的方法得到解决。

表2 工业4.0的主要业务目标

	业务经营	生产力提升	<ul style="list-style-type: none">• 提高资产利用率，缩短停工时间• 提高直接和间接的劳动效率• 管理供应网络成本及同步• 确保进度及计划的稳定性和准确性
		风险控制	<ul style="list-style-type: none">• 确保原材料的价格和可用性• 有效管理产品的保修和召回• 减轻地缘政治风险
	业务拓展	增量收入	<ul style="list-style-type: none">• 发现核心业务增长源• 增加售后市场的收入流• 深化客户的理解和洞察• 强化客户整合及渠道
		新收入	<ul style="list-style-type: none">• 创造新的产品和服务• 在全球及新兴市场扩张• 发现有吸引力的并购机遇

资料来源：德勤分析
图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

图4 工业4.0转型要素及其利益相关者



资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

制造商关注点不同，其在制造业价值链中寻求的机会也就不同。实际上，经营业务和拓展业务分别对应价值链的不同环节。在经营优先于拓展这一理念的指导下，制造商将重点关注价值链中与之相对应的环节。

例如，制造业价值链第一阶段的重点是研发和设计，在这方面，工业4.0技术可以加快和完善设计流程，缩短产品进入市场的时间并推出更加智能的产品。在这一阶段，受工业4.0影响最大的利益相关者将是设计工程师。价值链的另一端，由于工业4.0的应用，全新、完善的产品和服务将应运而生，从而产生新增或增量收入，实现业务拓展。价值链的

中间阶段——规划、工厂、支持——可利用工业4.0技术以不同方式实现经营转型。所有互联技术的使用均包含信息价值环，制造商在信息价值环中可能遭遇瓶颈，因而无法获得最优结果。在此情况下，找到应对各种瓶颈的技术解决方案就显得尤为重要。我们在随后的研究中会详细探讨这一问题。

图4为我们研究发现的与工业4.0相关的六大转型要素。

本报告将分别探讨这六大转型要素，以更好地了解利益相关者和受转型影响最大的流程，并提供实践案例，从而加深对转型潜在商业价值的认识。²³

拓展业务

利用工业4.0创造收入

无论是在制造业价值链的哪一端，工业4.0技术都能推动业务增长。尤其是在研发与设计、销售与交付、及支持阶段，物理到数字化、纯数字化以及数字化到物理等多种形式的互联能够推动工程、客户互动甚至是产品本身的转型。²⁴

产品:创造智能产品和服务

工业4.0时代的产品涉及的技术范围很广。信息技术（如传感器和可穿戴设备）和操作技术（如增材制造、先进计算机数控和机器人技术在内的先进制造技术）的使用可从各个方面促进产品优化（表3）。

各制造商目前已开始运用先进操作技术（如增材制造）和先进信息技术（如扫描和嵌入式传感器），创造新产品，改进旧产品——在向客户提供全新数据产品的同时也向客户提供不同层面的价值。

例如，操作技术和信息技术目前已被运用到医用植入体的大批量定制中——许多人都需要此类设备，但每个设备的结构和情况各有差异。沃尔特里德国家军事医疗中心（Walter Reed National Military Medical Center）的3D医学应用中心（3D-MAC）在制造假体时会扫描每位病人的骨骼，从而利用增材制造技术根据每位病人的情况定制假体。²⁵

同样，操作技术和信息技术还可用于接触性运动头盔的定制生产。加利福尼亚大学洛杉矶分校与Architected Materials公司的研究人员目前正在开发完善橄榄球头盔保护功能的技术。通过对运动员的头部进行3D扫描，制造商可以按照每位运动员的尺寸生产头盔。²⁶此外，头盔中还可安装嵌入式传感器，以检测撞击力的大小，并通过应用程序提交数据——推出一款全新的数据产品。²⁷

表3 促进产品转型的工业4.0潜在应用

产品影响	信息技术/操作技术的潜在应用
使现有产品变得更智能	安装传感器、增强互联性，提升产品性能或安全性；实现产品与移动应用的连接，提升用户体验；将先进材料应用到现有产品，提升产品性能
提供智能技术产品或服务所产生的数据	提供当前业务经营所产生的数据与元数据；建立并销售管理互联产品/企业所产生的数据平台；为每位终端用户开发个性化的数据包
开发全新的产品和服务	开发性价比较高的大批量定制服务；利用先进的制造技术，实现全新的、综合性的产品创新；创建新的服务形式和商业模式

资料来源：德勤分析

图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

表4 促进客户转型的工业4.0潜在应用

客户影响	信息技术/操作技术的潜在应用
更智能地推销和出售产品与服务	利用数据推动客户智能；基于库存和客户数据制定智能定价策略；通过分析，预测客户对零部件的需求
提升售后体验	利用数据追踪设备情况以及局部和系统问题，从而预测客户需求并尽量延长设备正常运行时间；快速进行性能/运营分析；通过传感应用程序提升用户体验
优化性能和流通	基于数据信息，适时将产品准确分配到合适的经销商，以更好地管理库存；远程追踪产品的使用、性能和位置；优化产品流通

资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

类似应用也适用于企业间交易活动，扫描/数字化设计、数字化制造以及磁场传感器将改变工业产品的价值定位。例如，通用电气的电力和水利事业部针对其发电厂、风电场和电网的设备实施了数字化模拟。通过运用传感器和控制器、信号集成以及高性能计算，该部门针对发电厂内运行的实体设备建立实时数字化仿真模型。基于以上云端“数字化发电厂”模型，操作人员可以掌握发电厂的设备情况、优化电力生产、适时开展机械维修、模拟各类情况以了解其对发电厂可能造成的影响。²⁸

客户：以新的方式与客户建立联系、整合客户信息

基于智能产品和服务收集的数据和信息，制造商可以更好地了解其客户。工业4.0时代，客户体验的提升不仅受实体商品影响，还涉及数据和信息（以及对数据和信息的分析），可使客户与产品的互动变得更加透明，并从不同方面影响客户与制造商的相互作用（表4）。

运用客户信息有助于更智能地定价和销售产品与服务。例如，欧洲铁路货运集团德国联邦铁路公司（Deutsche Bahn AG）将其广泛的铁路监控传感器网络与客户订购和计费数据库结合在一起，并额外添加交通和承载量实时数据，从而建立智能定价模式，满足客户具体需求，并符合当前具体情况。²⁹拼车服务提供商优步（Uber）利用司机与客户数据计算出峰时价格——在需求较大时调高价格的动态定价模式。³⁰

信息技术和操作技术可潜在促进产品和服务的提升，使设备利用更加智能。此外，数据的发送是双向的：信息既可以发送给制造商及其合作方，也可通过智能应用程序返回给客户，提升用户体验。例如，一家制药公司考虑将智能监控感应器应用到其吸入器产品线，以收集实时数据，从而通过数据分析为病人和医生提供重要信息。³¹

工程师：加快创新与设计流程

制造业价值链以产品开发与设计为起点。各种工业4.0技术，尤其是增材/先进制造等操作技术及计算机辅助设计和模拟等信息技术和数字工具能够发挥作用，在几个关键方面影响流程（表5）。

在快速成型中使用增材制造等数字到物理的制造技术可以加快设计进程与终端成品的生产，从而降低供应链依赖性。³³福特预计，车辆设计阶段使用快速成型可节约数周时间，因为传统的机加工方法需要4至6周完成原型，而增材制造仅需花数小时，能让汽车提前数月进入市场。³⁴先进制造技术根据最终装配流程评估产品设计方案，进而协助工程师优化产品的可制造性。³⁵

工业4.0技术利用数字设计与模拟仿真，采取虚拟产品开发与测试形式提高工程效率。美国约翰迪尔公司利用增强现实技术，促使顾客检测其早期设计概念并

美国约翰迪尔公司利用增强现实技术，促使顾客检测其早期设计概念并提供反馈，从而调整并重新进行设计。

提供反馈，从而调整并重新进行设计。该公司估计，其工程师利用虚拟现实仿真设计产品JD7760摘棉机的空气处理辅助系统，将设计周期从27个月缩短至9个月，设计成本降低了超过100,000美元。³⁶

这些工具还可以采用开源创新形式，允许自由设计者通过开放分享知识产权改进其产品。例如，美国洛克汽车公司（Local Motors）将许多设计众包给社区中的顾客和汽车爱好者，并举办设计比赛，让客户在其汽车设计中有充分的话语权。该公司采取知识产权开源的方式，有助于促进创新与协作。

表5 工业4.0在工程转型中的潜在应用

工程影响	信息技术/操作技术的潜在应用
缩短从想法到市场的时间	利用快速成型及生产能力设计新产品，消除供应链依赖性；使用云开发工具配置全新软件解决方案
设计与产品智能更好的连接	运用数据预估设计缺陷并加以修正；根据总的购置成本和供应影响设计产品并模拟使用情况；依据可制造性评估产品设计方案
提高工程整体效率 ³²	使用虚拟仿真软件设计与测试新产品；开源分享知识产权，推动或改善设计

资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

经营业务

利用工业4.0技术提高生产力并降低风险

工业4.0技术还能改善运营。在价值链的“计划”、“采购”与“制造”阶段，物理到数字和数字到物理的各种结合可以改变规划、支持与工厂运作。

规划：预测变化并及时采取应对措施

制造商在制定生产计划时，经常会在制造业价值链中遇到许多不确定因素。信息技术和操作技术能够支持该领域的若干变化（表6）。

制造商利用信息技术（例如传感器、信号整合、优化和预测）进行需求感知和规划，以收集整个价值链中的数据。分析这些数据可以发现模式，追踪动向，

并最终了解顾客需求和市场，因此他们能更好地计划提供服务的恰当时间和地点。

例如，聚氯乙烯（PVC）管道制造商Ridgeline Pipe Manufacturing致力满足客户不断变化的需求与较短的交付周期。该公司必须在需求不确定的情况下进行预测和计划，迅速调整以应对未知变化并减少产品更改次数。而使用传统系统导致的浪费、高成本与缺乏灵活性已经令人无法接受。³⁸该公司采用灵活的产品平台，自动化生产管理员通过这个平台管理设备，同时提供诊断和性能信息。³⁹这个系统还能分析产品数据，提供预测性故障分析。⁴⁰

表6 工业4.0在规划转型中的潜在应用

规划影响	信息技术/操作技术的潜在应用
需求感知及规划	汇总并分析数据以便持续监控需求模式；追踪整个供应链中商品的动向，便于进行需求规划；根据需求向顾客积极推荐产品补给
供应规划及供应商转型	帮助供应商在汽车制造商供应链中监控并掌握一定库存；增强对供应商产能水平以及交付周期的了解；利用外部市场信息优化定价决策
出口网络优化	追踪前向网络中的库存；根据意外事件实时改变配送车辆的路线；帮助顾客根据准确定位追踪送货状态

资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

工厂：创建操作技术与信息技术之间的数字连接

可能只有智能工厂才能完美体现工业4.0内在的物理到数字转换。采用工业4.0的工厂利用增强现实、传感器和控制器、可穿戴设备和物联网等物理到数字技术追踪动向和产品，监测质量控制，并且管理工具生命周期等。借此，车间里的工业4.0能够提高产能效率，生产设备更加智能化并促进活动同步与作业流程（表7）。

工业4.0技术为员工提供更加安全的工作条件，提高劳动生产率和效率。采矿设备制造商久益环球（Joy Global）为其远程控制的提炼设备增加了约7,000台传感器，助其进入超深矿井中采矿，而这些区域通常对从事该项工作的工人而言非常危险。⁴²波音公司采取类似方式，使用定位系统精确定位工人位置，并评估其安全带状况，提高工人安全。⁴³

了解故障背后的原因有助于制造商更加有效地解决问题根源，而非问题表面。

除了劳动生产率和安全性外，信息技术/操作技术还能转变生产设备智能化。例如，哈雷戴维森利用智能系统检测生产过程中的缺陷。在其宾夕法尼亚州约克工厂的智能系统能够监控设备性能，并自动采取措施。⁴⁴一旦发现测量结果超出可接受范围，该机器将自动调整，避免故障的发生。⁴⁵

除了避免主动的质量控制外，信息技术还能影响活动同步与作业流程。通用汽车根据其生产车间控制网络，利用工厂内的传感器测量湿度，根据物理到数字的信息环指导车间的操作。如果一个区域的湿度过高，车体将自动改道至影响较低区域，减少重新喷漆的需要并避免停工。⁴⁶

支持：自动开展售后业务并调整其范围
一旦某个部件或产品完成开发、制造、运输并售出，工业4.0技术将至少在三个关键方面提供支持（表8）。⁴⁷

了解故障背后的原因有助于制造商更加有效地解决问题根源，而非问题表面。例如，施耐德电气某个100兆瓦汽轮机不断出现故障且故障频率越来越高，即使进行了持续的定期维护；在检查该汽轮机一年内收集的维护和历史数据后，施耐德电气发现对于某个质量问题技术人员仅解决了问题的表象，并未解决问题的根源。通过分析，施耐德在处理导致设备故障的表象问题——轴承振动——之前解决了问题根源——热膨胀问题。该公司估计，预测性维护可节省数百万美元的费用，同时大大减少设备的故障停机时间。⁴⁸

表7 工业4.0在工厂转型中的潜在应用

工厂影响	信息技术/操作技术的潜在应用
提高劳动生产率及效率	提高制造与装配能力；追踪劳动效率；监控工人动向与生产能力；以及对工人和设备进行实时的安全监测
生产设备智能化	利用主动感知与质量控制检测缺陷；对工厂设备进行预测性维护；以及管理工具生命周期
活动同步与作业流程	生产流程中利用技术规划动态路线；利用虚拟构建仿真使生产车间的工程性变更效率最大化；调整可能影响机器的不同环境因素 ⁴¹

资料来源：德勤分析
图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

表8 工业4.0支持转型的潜在应用

支持影响	信息技术/操作技术的潜在应用
生产及现场检修质量支持	远程“即时影像”支持；利用数字叠加增强现实技术进行培训；融合数字化和移动技术制作产品手册
预测零部件、产品或服务故障	采用先进分析方法为现场技术人员选择合适的工具；利用客户数据识别常见问题并调整设计；进行终端用户智能培训
保证故障响应及时，准确，有效，甚至超前	利用数据规划支持网络布局；优化配件库存组合；3D打印配件和工具

资料来源：德勤分析
 图像：德勤大学出版社 | DUPress.com

另一个预测分析的例子中，卡特彼勒与Uptake公司合作，通过分析由远程通信设备收集的机械设备数据，预测故障并进行主动修复。正是看到了该技术在未来的盈利机会，这些公司向客户推出了新的数据产品和服务。⁴⁹

在对现场故障做出响应时，可穿戴设备及增强现实技术能够使技术人员远程指导用户完成维护程序。例如，某工业设

备制造商在将业务扩大至中国市场时遭遇了困难，比如运营成本提高、设备故障频率增加等。这些问题的根源主要在于缺少经验丰富的人员对新工厂内的员工进行培训。该制造商试行了一种可穿戴式智能眼镜技术，远程专家可同步看到工厂设备操作人员的操作，并提供循序渐进的指导和培训。与此同时，由于质量管理的提高，整体生产过程中的风险得到降低。⁵⁰

未来展望

企业在实行或计划实行工业4.0实践的过程中将面临信息技术和操作技术管理与整合相关的多种挑战。其中部分挑战的影响在于组织层面，而其他挑战则存在于广泛的生态圈层面。随着互联技术加速发展，这些挑战变得愈加严峻。

• **人才与劳动力**——企业在组织层面利用工业4.0实践尝试整合信息技术和操作技术时，常遭遇缺乏新系统规划、执行和维护方面的人才的困境。⁵¹接受过非结构化数据处理及大数据工具使用——对互联系统产生的数据类型和规模而言至关重要——培训的工程师数量正稳步增长，但仍远低于预期需求。⁵²困难还进一步延伸到工厂生产车间。许多企业领导人在传统生产方式上具有丰富的经验，而对先进的制造方式却感到不安：他们仅仅是缺乏对材料的特质和性能以及材料使用技术和方法相关的体验。这可能导致他们在采用新技术时的迟疑或推委。⁵³我们认为，这些企业领导人在考虑工业4.0应用时对劳动力的发展应采取积极的态度，可通过与外部组织、高校、技术学校以及大学合作，发展并不断引进精通并热爱先进数字化和实体生产技术的员工。

• **标准与互通性**——从更广泛的生态圈角度来看，许多支撑工业4.0应用的系统均是专有系统，进行整合将会困难重重。因为缺乏互通性，工业4.0技术的全面应用面临巨大的挑战。⁵⁴企业联盟、行业协会以及政府机构三方正努力建立相关标准体系，但目前尚未清楚以哪方为准。⁵⁵管理人员应与合

伙方合作，时时关注相关标准的最新发展，以期最大化工业4.0投资创造的价值。

• **数据所有权及控制**——随着整个价值链中越来越多的利益相关者相互关联，生态圈内谁拥有所产生的数据以及如何保障适当的隐私、控制和安全等问题将会浮现。⁵⁶随着供应商和制造商之间的联系日益紧密，这些问题也将愈加棘手。而供应商和销售商在供应链中直通终端零售商和客户，因此对其特定领域之内甚至之外所产生的数据可能有权主张相关所有权。这些信息可用于提升产品性能、改进部件的使用以及提高效率，具有非凡的价值。因此，管理人员应特别注意其签订的相关数据所有权及使用权协议书。发现并控制数据流的瓶颈，将很可能获得创造和获取价值的重要机遇。⁵⁷

• **安全**——除数据的所有权外，安全也是在实行工业4.0过程中一个倍受关注的问题。⁵⁸复杂的加密算法虽能提升设备的安全性，但代价是能耗的增加。安全和能耗之间的取舍在大规模部署中变得尤为重要。对旧系统进行新工业4.0应用改造也可能增加安全风险，因为旧系统并不适用于此种方式的连接。要控制好安全风险，企业需要做好系统防护，保持警惕以规避新风险，提高韧性以降低损害并尽快恢复运营。⁵⁹因此，管理人员应积极主动应对网络安全问题。在工业4.0的规划过程中，解决安全问题不是后续任务，而是第一要务。

结论

尽管面临不少挑战，但毋庸置疑，工业4.0的概念将不断渗透进入企业生产流程和供应链。信息流、先进技术以及材料——即构成工业4.0的信息技术和操作技术——使利用全新的方式制造全新的产品成为可能，供应链、生产方式以及经营模式将发生变革。信息技术和操作技术两者之间的相互作用极为重要。企业领导人不应只考虑其中一方面的应用而忽视另一方面，而必须将两者真正融合，相辅相成，才能充分实现工业4.0带来的效益。

随着信息技术和操作技术不断整合，制造商需要评估其自身现状和发展方向——这将决定他们需要收集、分析并采取行动的信息类型。信息价值环的重点围绕着制造业价值链，通过整合信息价值环过程中识别的信息，企业在追求业务经营和发展的转型过程中便能了解对他们而言最为重要的信息类型。

有效地使用信息能够影响业务增长和企业经营等关键经营目标，同时实现整个价值链及其不同利益相关者的转型。要实现工业4.0，需要清楚理解物理如何反馈给数字，反之亦然。

尾注

1. Germany Trade & Invest, "Smart manufacturing for the future," <http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf>; National Academy of Science and Engineering, "Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0"
2. John Hagel III, John Seely Brown, Duleesha Kulasooriya, Craig Giffi, and Mengmeng Chen, *The future of manufacturing: Making things in a changing world*, Deloitte University Press, March 31, 2015.
3. For more information see Michael E. Raynor and Mark J. Cotteleer, *The more things change: Value creation, value capture, and the Internet of Things*, Deloitte University Press, July 27, 2015; Joe Mariani, Evan Quasney, and Michael Raynor, *Forging links into loops: The Internet of Things' potential to recast supply chain management*, Deloitte University Press, July 27, 2015; Jonathan Holdowsky, Monika Mahto, Michael Raynor, and Mark Cotteleer, *Inside the Internet of Things (IoT): A primer on the technologies building the IoT*, Deloitte University Press, August 21, 2015.
4. For further information about how the Internet of Things impacts choices about "where to play" and "how to win," see Raynor and Cotteleer, *The more things change*.
5. For further information, see Holdowsky, Mahto, Raynor, and Cotteleer, *Inside the Internet of Things (IoT)*.
6. Malte Brettel, Niklas Friederichsen, Michael Keller, and Marius Rosenberg, "How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 perspective," *World Academy of Science, Engineering and Technology: International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 8, no. 1. Furthermore, Deloitte offers extensive treatments of a variety of these technologies at www.dupress.com: see for example <http://dupress.com/collection/3dopportunity/>, <http://dupress.com/collection/internet-of-things/>, and <http://dupress.com/collection/cognitive-technology>.
7. Germany Trade & Invest, "Smart manufacturing for the future"; National Academy of Science and Engineering, "Securing the future of German manufacturing industry."
8. Ibid.
9. National Academy of Science and Engineering, "Securing the future of German manufacturing industry."
10. Germany Trade & Invest, "Smart manufacturing for the future"; National Academy of Science and Engineering, "Securing the future of German manufacturing industry."
11. Germany Trade & Invest, "Smart manufacturing for the future."
12. Ibid.
13. Holdowsky, Mahto, Raynor, and Cotteleer, *Inside the Internet of Things (IoT)*, Deloitte University Press, August 21, 2015.
14. Note: In Deloitte's view, the GTAI's original definition of Industry 4.0 is so close as to be identical to the concept of the Internet of Things that we have discussed it extensively as part of our IoT campaign. See for example Holdowsky, Mahto, Raynor, and Cotteleer, *Inside the Internet of Things (IoT)*, and Michael E. Raynor and Mark J. Cotteleer, "The more things change", <http://dupress.com/articles/value-creation-value-capture-internet-of-things/>.
15. For additional information on the design process as it relates to AM, see Joann Michalik, Jim Joyce, Ross Barney, and Grey McCune, *3D opportunity for product design: Additive manufacturing and the early stage*, Deloitte University Press, July 2015, <http://dupress.com/articles/3d-printing-productdesign-and-development/#sup-3>.
16. In our experience, there are those who consider the overlap between the IoT and Industry 4.0 to be so substantial that they are the same thing. As we shall explain, our view differs somewhat.
17. For further information regarding the role customers play in companies' IoT strategies, see Brenna Sniderman and Michael Raynor, "Power struggle: Customers, companies, and the Internet of Things," *Deloitte Review* 17, July 2015, <http://dupress.com/articles/internet-of-things-customers-companies/>.
18. For a deeper review of specific connected technologies inherent in the Internet of Things, see Holdowsky, Mahto, Raynor, and Cotteleer, *Inside the Internet of Things (IoT)*, Deloitte University Press, August 21, 2015; Deloitte and Council on Competitiveness, *Advanced technologies initiative: Manufacturing & innovation*, November 2015,

- http://www.compete.org/storage/documents/Deloitte_and_Council_on_Competitiveness_Advanced_Tech_Report_11-17-15.pdf, accessed January 6, 2016.
19. For a full description of the information value drivers that propel the Information Value Loop, see Raynor and Cotteleer, *The more things change*.
 20. Germany Trade & Invest, "Smart manufacturing for the future"; National Academy of Science and Engineering, "Securing the future of German manufacturing industry."
 21. Deloitte University Press has published detailed analysis on a number of these technologies; see <http://www.dupress.com>.
 22. The list of technologies that could be deployed in an Industry 4.0 world is extensive. We will explore these and many other specific technologies in future articles on Deloitte University Press.
 23. Future articles in this series will investigate each of these transformations in greater depth. Our intent here is to introduce these transformations so that our readers can begin discussing the possibilities within their own organizations.
 24. It is important to note that the potential uses specified in this section do not constitute an exhaustive list, but rather a sample of potential impacts that are made possible with the use of Industry 4.0 technologies. This paper constitutes the first in a series of analyses that will examine the impacts of Industry 4.0 across stakeholder groups.
 25. Peter Liacouras, Jonathan Garnes, Norberto Roman, Anton Petrich, and Gerald T. Grant, "Designing and manufacturing an auricular prosthesis using computed tomography, 3-dimensional photographic imaging, and additive manufacturing: A clinical report," *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2011;105:78-82. See also Glenn H. Snyder, Mark J. Cotteleer, and Ben Kotek, "3D opportunity in medical technology," April 28, 2014, <http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-inmedtech/> and Jeff Crane, Ryan Crestani, and Mark Cotteleer, "3D opportunity for end-use products," October 16, 2014, <http://dupress.com/articles/3d-printing-end-use-products>.
 26. UCLA, "UCLA-led team wins grant to tackle concussions among football players," <http://newsroom.ucla.edu/releases/ucla-led-teamwins-grant-to-tackle-concussions-amongfootball-players>, accessed October 15, 2015; Loughborough University, "Loughborough student puts safety first with his prototype for an 'intelligent' polo helmet," <http://www.lboro.ac.uk/news-events/news/2015/june/armispolo-helmet.html>, accessed October 15, 2015.
 27. Ibid.
 28. Stephen Lawson, "Cloud-based 'digital twins' could make power plants more efficient," *CIO.com*, September 29, 2015, <http://www.cio.com/article/2987522/cloud-based-digital-twinscould-make-power-plants-more-efficient.html>.
 29. Mariani, Quasney, and Raynor, *Forging links into loops*.
 30. Jonathan Hall, Cory Kendrick, and Chris Nosko, "The effects of Uber's surge pricing: A case study," University of Chicago Booth School of Business, 2015, http://faculty.chicagobooth.edu/chris.nosko/research/effects_of_uber's_surge_pricing.pdf, accessed January 18, 2016.
 31. Based on client work.
 32. Michalik, Joyce, Barney, and McCune, "3D opportunity for product design."
 33. Kelly Marchese, Jeff Crane, and Charlie Haley, "3D opportunity for the supply chain: Additive manufacturing delivers," Deloitte University Press, September 2, 2015.
 34. Lucas Mearian, "Inside Ford's 3D Printing Lab, where thousands of parts are made," *ComputerWorld*, June 4, 2014, <http://www.computerworld.com/article/2490192/emerging-technology-inside-ford-s-3dprinting-lab-where-thousands-of-partsare-made.html>, accessed January 7, 2016.
 35. For further information on changes in the design process based on advanced manufacturing technologies, see Brenna Sniderman, Kelly Monahan, and John Forsythe, "3D opportunity for engineers: Using behavioral science to help build a new mindset," *Deloitte Review* 18,

- January 25, 2016, <http://dupress.com/articles/behavioral-research-for-3d-printing-adoption>.
36. Jerry R. Duncan, Ph.D., "Evolution of digital tools used in complex product design," presentation given at James Watt Institute for High Value Manufacturing, 2010, http://www.jwi.hw.ac.uk/Conference/Deere_Duncan.pdf, accessed January 7, 2016.
 37. Venkat Ramaswamy and Ozcan Kerimcan, "Strategy and co-creation thinking," *Strategy & Leadership*, 41, issue 6 (2013), pp. 5–10.
 38. Rockwell Automation, "Ridgeline Pipe Manufacturing's new integrated, information enabled facility delivers parts fast to electrical customers," December 2012, http://www.tag-inc.us/shop/images/RUB-AP001AEN-P_web.pdf, accessed October 16, 2015.
 39. Ibid.
 40. Automation.com, "Case study: Rockwell Automation controls Ridgeline Pipe Manufacturing," <https://www.automation.com/portals/factory-discrete-automation/motion-control-motors-drives/rockwellautomation-controls-ridgeline-pipemanufacturing>, accessed October 16, 2015.
 41. Jay Lee, Hung-An Kao, and Shanhu Yang, "Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment," proceedings of the 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, 2014, pp. 3–8.
 42. David Essex, "Manufacturing IoT takes the lead on connecting devices," *Tech-Target*, December 7, 2015, <http://searchmanufacturingerp.techtarget.com/feature/Manufacturing-IoT-takes-the-lead-on-connecting-devices>, accessed January 7, 2016.
 43. Drew Robb, "Internet of Things adds intelligence to supply chain," *Enterprise Apps Today*, December 8, 2015, <http://www.enterpriseappstoday.com/supply-chain-management/internet-of-things-adds-intelligence-to-supplychain-1.html>, accessed January 7, 2016.
 44. James R. Hagerly, "How many turns in a screw? Big data knows," *Wall Street Journal*, May 15, 2013.
 45. Ibid.
 46. Mariani, Quasney, and Raynor, "Forging links into loops."
 47. Raynor and Cotteleer, *The more things change*.
 48. Schneider Electric Software, "Predictive asset analytics at power utilities," December 2015, <http://software.schneider-electric.com/pdf/industry-solution/predictive-asset-analytics-at-power-utilities/>, accessed January 6, 2016.
 49. Michal Lev-Ram, "Caterpillar digs into data analytics—investing in hot startup Uptake," *Fortune*, March 5, 2015, <http://fortune.com/2015/03/05/caterpillar-digs-into-data-analytics-investing-in-hot-startupuptake/>, accessed February 1, 2016.
 50. Based on client work.
 51. Ben Woo, "Combating the big data skills shortage," *Forbes*, January 18, 2013, <http://www.forbes.com/sites/bwoo/2013/01/18/combating-the-big-data-skills-shortage/>, accessed September 15, 2015.
 52. Ibid.
 53. Sniderman, Monahan, and Forsythe, *3D opportunity for engineers*.
 54. For more information about IoT-enabled supply chains, see Mariani, Quasney, and Raynor, "Forging links into loops."
 55. For further information about interoperability challenges for IoT-enabled devices, see Sniderman and Raynor, "Power struggle".
 56. Markus Eurich, Nina Oertel, and Roman Boutellier, "The impact of perceived privacy risks on organizations' willingness to share item-level event data across the supply chain," *Electronic Commerce Research* issue 3 (December 2010), pp. 423–440.
 57. Raynor and Cotteleer, *The more things change*.
 58. Germany Trade & Invest, "Smart manufacturing for the future"; National Academy of Science and Engineering, "Securing the future of German manufacturing industry."
 59. For a discussion of IoT-related security implications, see Irfan Saif, Sean Peasley, and Arun Perinkolam, "Safeguarding the Internet of Things: Being secure, vigilant, and resilient in the connected age," *Deloitte Review* 17, July 27, 2015, <http://dupress.com/articles/internet-ofthings-data-security-and-privacy/?coll=11711>, accessed September 13, 2015.

德勤中国联系人

董伟龙

领导合伙人

中国工业产品与服务行业

德勤中国

电子邮箱: rictung@deloitte.com.cn

张天兵

领导合伙人

中国工业产品与服务行业管理咨询

德勤中国

电子邮箱: tbzhang@deloitte.com.cn

薛梓源

领导合伙人

中国科技风险咨询服务

德勤中国

电子邮箱: tonxue@deloitte.com.cn

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中有关德勤有限公司及其成员所更为详细的描述。

德勤为各行各业的上市及非上市客户提供审计、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个国家的成员所网络为财富全球500强企业中的80%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244,400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、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,同时致力为中国会计准则、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。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。

©2017。欲了解更多信息,请联系德勤中国。
CQ-0965C-16



这是环保纸印刷品