

白皮书

第四次工业革命 制造业技术创新之光

与麦肯锡公司合作撰写

2019年1月



世界经济论坛
91-93 route de la Capite
CH-1223 克隆尼 / 日内瓦
瑞士
电话：+41 (0)22 869 1212
传真：+41 (0)22 786 2744
电子邮件：contact@weforum.org
www.weforum.org

© 2019 世界经济论坛。保留所有权利。本出版物的任何部分不得以任何形式或手段复制或传播，包括翻印、录音，或存储于任何其他信息存储和检索系统中。

本白皮书由世界经济论坛出版，致力于推动某一项目、某一洞察领域或某种互动的发展。报告中的发现、诠释和结论均在世界经济论坛的促进和支持下合作完成，但未必代表世界经济论坛或其全部成员、合作伙伴及其他利益相关者的观点。

目录

前言	5
执行摘要	6
1. “灯塔工厂”：第四次工业革命的领跑者	8
曙光乍现：第四次工业革命领跑者的巨大飞跃	8
识别“灯塔工厂”	8
2. “灯塔工厂”网络概述	10
3. 了解“灯塔工厂”：特征、差异和成功因素	14
“灯塔工厂”特征	14
人力资本注入器	14
重设标准的行业领导者	14
开放的创新者和协作者	15
大企业和小公司	15
来自新兴和发达经济体	15
用最少的设备替换，实现较大的影响	16
4. “灯塔工厂”如何实现大规模影响？	17
路径绘制：两条路径	17
产生大规模影响的价值驱动因素	18
扩展推动因素	18
“灯塔工厂”现状	18
在生产中推广第四次工业革命技术并克服“试点困境”的3种工具	19
5. 大规模部署的成功案例：解读两家“灯塔工厂”	20
宝洁（捷克拉科纳）：成本领先型增长	20
工厂历史	20
包容性愿景	20
五大用例	20
成就、影响和未来	21
Rold（意大利切罗马焦雷）：在中小企业实施第四次工业革命	22
革命性变革：今昔对比	22
关键推动因素	22
五大用例	22
成就、影响和未来	23
6. 行动呼吁	24
行动原因	24
打破生产率的停滞状态	24
来自各方的压力	24
机遇和挑战并存	24
必要行动	24
增加员工能力，而非取而代之	24
通过投资来提升能力，并实现终身学习	24
跨地区广泛推广新技术，海纳中小企业	25
提升网络安全，保护企业和社会	25
在第四次工业革命的开放平台上协作，妥善处理各种数据	25
利用第四次工业革命技术应对气候变化挑战	25

目录

行动主体	25
拥有“灯塔工厂”的组织	25
缺乏“灯塔工厂”的组织	25
技术提供商、新创公司和高等院校	25
打造全新的全球学习平台	25
附件：一窥“灯塔工厂” – 内部视角	26
1. 价值驱动因素	26
大数据决策	26
博世汽车（中国无锡）	26
Christophe Chapdelaine, 博世汽车柴油系统（无锡）有限公司，制造和质量管理高级副总裁	27
Babur Ozden, Maana 公司创始人兼首席执行官	27
生产车间的科技民主化	27
Natan Linder, Tulip Interfaces 公司首席执行官兼联合创始人	27
Melonee Wise, Fetch Robotics 公司首席执行官	28
敏捷工作模式	28
Fast Radius 公司（美国芝加哥）	28
Lou Rassey, Fast Radius 公司首席执行官	29
博世汽车（中国无锡）	29
最小化增加用例产生的增量成本	29
微软生产基地（中国苏州）	29
Darren Coil, 微软商业战略总监	30
Melonee Wise, Fetch Robotics 公司首席执行官	30
新商业模式	30
某欧洲消费电子产品制造商（匿名）	30
2. 扩展推动因素	32
第四次工业革命战略和商业案例	32
宝马集团	32
Christian Patron, 宝马集团生产系统创新和数字化负责人；Marcel Eigner, 宝马集团战略数字化和智能数据分析生产系统负责人	32
用于扩展的物联网基础设施	33
惠普公司	33
Chen Linchevski, Precognize 公司联合创始人兼首席执行官	33
获取新技能以增强能力	34
塔塔钢铁（荷兰艾默伊登）	34
Hans Fischer, 塔塔钢铁欧洲首席执行官	35
Daiane Piva, 塔塔钢铁能源效率改进顾问	35
员工参与	35
施耐德电气（法国勒沃德勒伊）	35
Lilian Aube, 施耐德电气勒沃德勒伊工厂工会代表	35
Sophie Grugier, 施耐德电气全球供应链运营高级副总裁	36
贡献者	37
项目团队	37
尾注	38

前言



Helena Leurent,
“塑造先进制造和生产的未来”项目负责人、世界经济论坛执行委员会成员



Enno de Boer,
麦肯锡全球董事合伙人兼制造业全球负责人，常驻美国分公司

灯塔与航海密不可分，它发出的强光可以刺破迷雾，照亮黑暗，保卫行船的安全。在瑞士达沃斯—克洛斯特斯举行的“2018 年世界经济论坛”上，公私领域的领导者决定纵观各行各业，挑选出在第四次工业革命创新中起到引领作用的制造企业。那些被视作“灯塔”的模范工厂可以借世界经济论坛这个平台相互对接，从而开启一场利于生产环境的独特学习之旅。

最近 10 年，制造业生产率停滞不前，需求愈加分散，创新更是姗姗来迟。少数企业已成功跨越试点阶段，在实践中大规模推广第四次工业革命带来的创新。它们以最小的员工取代数实现了效率的空前提升。然而，多数企业似乎仍深陷“试点困境”中。如果企业和政府能够齐心协力，大规模推广第四次工业革命技术，全球范围内的财富便能实现可观增长，为所有人民带来福祉。

对公私领域众多领导者而言，制造业的第四次工业革命仍是重中之重。它对价值链、各行各业和商业模式具有颠覆性影响。物联网 (IoT) 产生的经济价值中，有三分之一都来源于制造业¹，因此，在这场正在进行的革命中，工厂是重心所在。虽然制造业仅占全球 GDP 的 16%²，但其在全球研发开支中的占比却高达 64%³。不过，工业革命带来的变化如果得不到妥善处理，人员的工作可能会大范围被机器取代。利益相关者必须加强合作，这样才能充分预判前路的未知，顺利实现转型。

“灯塔工厂”是“数字化制造”和“全球化 4.0”的示范者，它们拥有第四次工业革命的所有必备特征。此外，它们还验证了一个假设，即生产价值驱动因素的全方位改进可以催生新的经济价值。这些驱动因素包括：资源生产率和效率、灵活性和响应能力、产品上市速度及满足客户需求的定制能力。改进传统企业的生产系统、创新设计价值链、打造具有颠覆潜力的新型商业模式等举措都能创造价值。

“灯塔工厂”凸显了制造业的全球化特征。例如，某德国企业可能将工厂设在中国，某美国公司可能将工厂设在爱尔兰。这表明，创新不分地区，也不分背景。从采购基础材料到加工工业，再到解决特殊需求的高端制造商，行业千差万别，包罗万象。不过，这也证明各种规模的公司都有实现第四次工业革命的潜力，既可以是立足全球的蓝筹企业，也可以是员工不到 100 人的本地公司。

“灯塔工厂”重视协作，每年都向成千上万的来访者敞开大门。因为它们知道，协作文化带来的益处要远超竞争带来的威胁。它们能为其他企业带来灵感，帮助制定战略、提高劳动者技能、与参与革命的其他企业展开协作，并且管理贯穿整个价值链的各种变化。虽然他们规模各异，所处行业和地区也各不相同，但仍能总结出 9 个共同特征。这些特征为本报告带来了许多启示，行业和政府领导者也能据此采取行动。我们鼓励政府、高校、科技提供商和企业使用这一独特的网络，以引导和加快技术的全面拓展。

制造业的第四次工业革命成为经济增长新引擎，它引入了许多机会，帮助我们以全新的方式来学习和嵌入价值。若能本着包容性的态度去善用技术，以打造一个更美好的世界，我们的社会将会变得更强大、更清洁、更互联。

执行摘要

很多企业都尝试在制造部门推广第四次工业革命技术，但很少有企业能够实现技术的大规模整合，也因此错失可观的经济和财务效益。世界经济论坛与麦肯锡合作，近距离观察了1000多家顶尖制造企业。随后，我们又对项目作了延伸拓展，前往造访最先进的工厂，将为数不多的几家列为第四次工业革命中真正的指路明灯，它们被统称为：“灯塔工厂”。

这些工厂在大规模采用新技术方面位居前沿。作为世界的灯塔，这些工厂将会帮助我们探寻能够推动全球经济增长的生产方法。它们验证了一点：对科技的前瞻性运用可大幅提升制造业的效率，从而创造更美好、更清洁的世界。与此同时，它们还向世人证明：通过大规模推广第四次工业革命技术，人类的劳动技能可以得到提高和更有效的发挥，从而尽可能减少被取代的员工数。由此，工作的本质也会得到改变。

推动第四次工业革命范式发生转变的主要动力为三大科技趋势：互联化、智能化和灵活的自动化。有些工厂已先人一步，主动拥抱这三大趋势，它们都见证了业绩的大幅提升。从第四次工业革命技术的普及程度来看，这些“灯塔工厂”已经走过了试点阶段，开始大规模整合，因而也摆脱了“试点困境”的魔咒。然而，很多企业仍深陷其中。

仅需看一眼这些“灯塔工厂”，一些不实的谣言就会不攻自破。这些广为流传的谣言和误解阻碍了创新技术的大规模采用。什么样的特征、差异因素和成功元素能够实现技术的大规模应用？这些“灯塔工厂”自有解答。

- “灯塔工厂”是人力资本注入器。他们并没有直接用机器取代员工，而是改变了工作形式，减少重复性劳动，让工作本身变得更有意思、更多样、更富有成效。
- “灯塔工厂”是重设标准的行业领导者。过去几十年来，制造型企业一直在不断改进，但“灯塔工厂”已跳出这一范畴，向前更进一步，重设了行业标准。
- 它们是开放的创新者和协作者。企业、政府和社会（包括学界）也齐心协力，组建了一个多边体系，共同推进创新。

- 这些工厂既代表大公司，也代表小企业。第四次工业革命创新不仅为大企业独享，中小企业也同样可以从中获益。

- 发展中经济体和发达经济体中都存在“灯塔工厂”。即便是在那些获益于低劳动力成本的地区，第四次工业革命技术也可以带来回报。

- “灯塔工厂”以最少的设备替换，实现了高效益。这些效益多数通过对现有工厂的运营进行转型提升来实现。通过优化现有基础设施，并借助新机器进行强化，工厂可以获得客观的效益。

实现规模效益的方式不止一种。世界经济论坛指出了制造业先锋在规划未来时，可供选择的两条扩展路径。它们并非水火不容，而是相辅相成：

- 创新生产系统：通过卓越运营来扩大竞争优势。
- 创新端到端价值链：通过改变运营经济性来催生新业务。

受5种价值因素的推动，“灯塔工厂”善用第四次工业革命技术，实现大规模影响。它们展现出的4种独特能力，可被视为向前的助推因素。本白皮书的附件从“灯塔工厂”视角出发，通过实例来阐明这些价值驱动因素或助推因素。

这些价值驱动因素包括：

- 大数据决策
- 在生产车间实现科技民主化
- 敏捷工作模式
- 最小化新增用例的成本
- 新商业模式

这4大扩展推动因素包括：

- 战略和商业案例
- 可扩展的物联网基础架构
- 能力提升
- 员工参与

除附件中提供的内部视角外，本白皮书还深入分析了两家规模迥异的公司所经营的两个“灯塔工厂”。一个是宝洁的拉科纳工厂，它代表着大型跨国公司。另一个叫 Rold，由一家总部位于意大利的中小型企业所经营。每一个工厂的变革故事都是一笔宝贵的财富，能让我们一窥制造环境的广泛变革。

世界经济论坛呼吁各方采取行动，打破生产率停滞不前的现状，解决当今世界面临的重大挑战，如气候变化、资源短缺和劳动力老化等。世界经济论坛推荐了 6 项基于原则的行动，以确保制造业的第四次工业革命能为社会带来最积极的影响：

- 增强一线员工能力，而非取而代之。
- 通过投资来提升能力，并实现终身学习。
- 跨地区广泛推广新技术，海纳中小企业。
- 提升网络安全，保护企业和社会。
- 在第四次工业革命的开放平台上协作，妥善处理各种数据。
- 利用第四次工业革命技术应对气候变化挑战。

公私领域应共同肩负起行动的责任，世界经济论坛也鼓励“灯塔工厂”的广泛参与，加入这场独特的学习之旅。若是所有“灯塔工厂”都能践行这些研究结果，各大组织和政府便可实现第四次工业革命在制造业蕴含的巨大潜力。本着保护环境和对社会负责的态度去善用这些知识和技术，能够或多或少地引领下一波经济增长，推动整个社会向着更加光明的未来前进。

1. “灯塔工厂”：第四次工业革命领跑者的巨大飞跃

曙光乍现：领跑者实现巨大飞跃

推动第四次工业革命范式发生转变的主要动力为三大科技趋势：互联化、智能化和灵活的自动化（见图 1）。

主动拥抱这些科技趋势的“灯塔工厂”已取得令人瞩目的成效。

大规模部署技术可对组织产生重大影响。仔细观察三大趋势中的任一趋势所产生的影响便可窥探一二。例如，根据麦肯锡全球研究院的分析，在最初 5 至 7 年内采用和吸收人工智能技术的公司，将大幅领先跟进者和落后者。该分析还发现，就采用人工智能技术而言，“领跑者”预计可累计实现 122% 的现金流增长，而跟进者只能实现 10% 的现金流增长（见图 2）。

这说明，尽早采用新技术很重要，犹豫不决可能会令企业错失巨大利益。那些选择尽早实施，而非一味等待技术和转型成本下降的企业，才能获取最大利益。因此，对领跑者而言，从中获取的竞争优势至关重要，企业因此获得的收益将远高于早期部署所产生的转型成本和资本开支⁴。

识别“灯塔工厂”

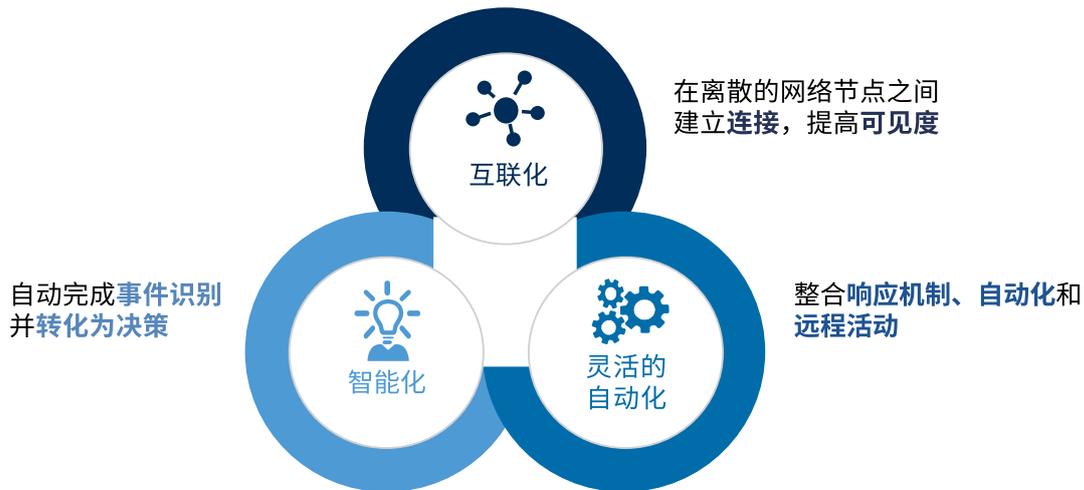
“灯塔工厂”指的是成功将第四次工业革命技术从试点阶段推向大规模整合阶段的工厂，他们借此实现了重大的财务和

运营效益。合格的“灯塔工厂”需要满足以下四项标准：1) 实现重大影响；2) 成功整合多个用例*；3) 拥有可扩展的技术平台；4) 在关键推动因素中表现优异（例如管理变革、能力构建以及与第四次工业革命社区展开协作）。

我们对 1000 多家来自全球各行各业的领先制造商进行了全面筛选，并邀请了 150 多家最前沿的公司推举先进工厂。之后，我们进行实地探访和记录，并将资料传输给一个由私有组织、高等院校和科技先锋代表组成第四次工业革命专家委员会，由他们进行全面检视，从中确立 16 个为“灯塔工厂”。我们认为这 16 家“灯塔工厂”是当今最先进的生产场所。包括由拜耳、宝马、博世、丹佛斯、UPS 参股的 Fast Radius、富士康、海尔、强生、Phoenix Contact、宝洁、Rold、Sandvik Coromant、沙特阿美、施耐德电气、西门子和塔塔钢铁运营的工厂（见图 3）。

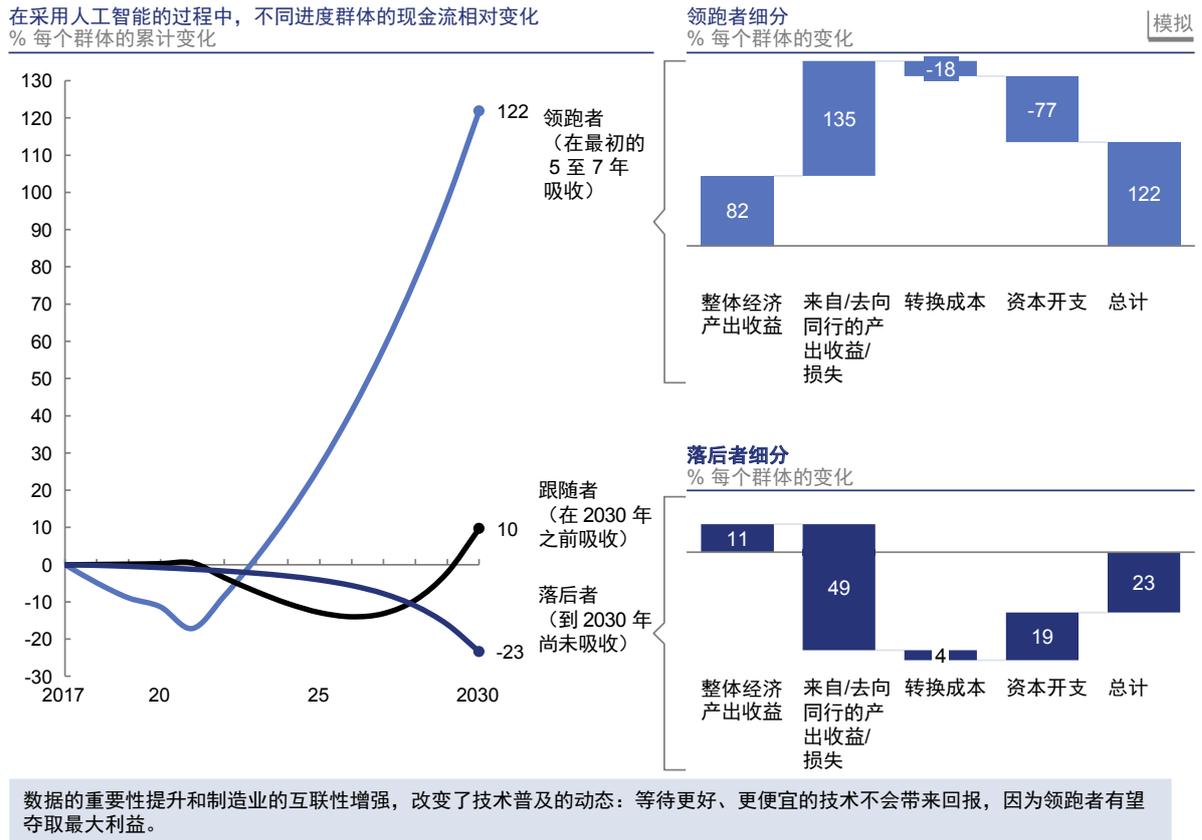
谣言和误解会阻碍第四次工业革命技术的普及。要想了解不同类型的组织能否平等参与这场革命，这些谣言和误解就必须得到破除。只要领导层有远见卓识，企业无论规模大小，都可以踏上一场创新之旅，从数字化转型中获益。世界经济论坛对“灯塔工厂”的分析颇具意义，为如何实现第四次工业革命的大规模部署指明了方向。这些“灯塔工厂”的光芒可以刺透迷雾，为企业在制造业环境中提供清晰的指引。

图 1：推动生产变革的科技趋势



* 用例：在实际生产环境中应用一项或多项第四次工业革命技术来解决商业问题

图 2：人工智能普及过程中的领跑者、跟随者和落后者获得的经济收益⁵



注释：图中数字均为模拟仿真数据，仅提供一个方向性视角，而非预测。
资料来源：麦肯锡全球研究院分析

图 3：全球“灯塔工厂”网络



2. 全球“灯塔工厂”网络概况



工厂

拜耳制药部门（意大利加尔巴捏特）

变革故事

工厂面临需求增加和 OEE 波动¹ – 通过重点支持来实施转型

宝马（德国雷根斯堡）

先进工厂采用精益流程，利用数字化制造达到新的绩效水平

博世汽车（中国无锡）

实施 30 多个用例，满足 200% 的客户需求增长

丹佛斯（中国天津）

第四次工业革命技术用例希望通过质量提升和成本压缩，以达到客户预期

工业富联（中国深圳）

整个组织正从一家电子制造服务公司转型为一家工业互联网公司

海尔（中国青岛）

开发了数字化制造转型来满足消费者需求，并开创新型商业模式

强生旗下 DePuy Synthes
（爱尔兰科克）

关注材料科学和技术创新的全球创新中心，拥有内部培养技术和知识的能力

Phoenix Contact
（德国巴特皮尔蒙特和布隆堡）

市场需求转向高度定制化，通过部署形式各异的数字化制造用例来满足这种需求

资料来源：“灯塔工厂”

¹ 设备综合效率 (Overall Equipment Effectiveness) ; ² 全时工作当量 (Full-Time Equivalent) ; ³ 商对客 (Business to Consumer) ; ⁴ 虚拟现实 (Virtual Reality)

五大用例	影响	要点
数字绩效管理	↑ 35% OEE	制定覆盖整个集团的战略倡议，旨在对客户体验和内部运营进行数字化改造，并开发新的商业模式
混合现实换线	↓ 30% 转换时间	
针对质量偏差进行先进分析	↓ 80% 偏差	
针对设备故障进行先进分析	↓ 50% 故障	
一体化人员和资产调配	↑ 75% 人均生产批量 ²	
数据分析和预测性维护	↓ 25% 冲床意外停机	关注有效性的战略、正确的思维和易于访问的数据能够改善质量、成本和生产率
智能自动化物流运输	↓ 35% 物流成本	
智能维护和协助	↓ 5% 返工	
协作机器人和自动化	↑ 5% 组装效率	
基于物联网技术的设备运行监控	↑ >90% 对标 OEE	联网设备提供的大数据用于改善运营，敏捷的概念验证支持新用例的快速部署
数字库存管理	↓ >10% 总库存	
数字价值流图析	↑ 15% 单位产出	
数字化刀具生命周期管理	↓ >10% 刀具库存	
实时加工工时追踪	↓ >15% 业绩损失	
数字化操作员辅助系统	↓ 50% 报废成本	用联网设备提供的大数据改善运营，敏捷的概念验证支持新用例的快速部署
人工智能化质量管理体系	↓ 57% 客户投诉	
实时加工质量控制	↓ 7% 加工周期缩短	
灵活的自动化组装线	↑ 30% 劳动生产率	
数字研发和工程	↓ >40% 设计迭代周期	
用云端平台连接机器	↑ 不适用 透明度	明确自上而下的战略，配备专门的团队来实施，并关注能力培养
无人值守制造	↑ 31% 每小时单位数	
实时监控和预测	↓ 60% 意外故障	
使用人工智能自动测试	↓ 50% 误判	
基于物联网技术的喷嘴状态监控	↑ 25 倍 喷嘴寿命	
大规模定制和 B2C ³ 在线订购	↓ 33% 交期	创新出新型商业模式，用基于互联网的 B2C 销售渠道来配置和订购空调
实时一线员工绩效排名	↑ 64% 劳动生产率	
数字化质量管理体系	↓ 21% 百万缺陷率	
数字化制造绩效	↑ 不适用 OEE 提高	
数字产品售后	↓ 50% 客户，维护人员	
实时监控关键资产的 OEE	↑ 5% 资产利用	第四次工业革命的专属空间充当内部试验场，以进行敏捷测试和用例部署
增材制造（3D 打印）	↓ 25% 销货成本	
自动流程优化	↓ 10% 报废	
VR ⁴ 培训和设计工具	↑ 5 倍 安全信息保留	
协作机器人	↑ 25% 劳动效率	
实体资产的数字副本	不适用 高度自动化的单件流生产	在内部增材制造新创公司开创新型商业模式，该公司既充当内部客户，也充当外部客户
数字化生产绩效工具	↓ 30% 生产时间	
混合现实维护	↓ 不适用 时间和错误	
建立能源管理系统	↓ ~7.5% 能源成本	
增材制造（3D 打印）	↓ 60% 周期	

工厂

变革故事

宝洁（捷克拉科纳）

改变产品组合，希望能再创 140 年的历史

Rold（意大利切罗马焦雷）

利用数字化制造来维持竞争力和提高产量

Sandvik Coromant（瑞典基默）

数字化制造和智能自动化使该工厂能够以有竞争力的成本，大量生产最小批量的切割工具

沙特阿美（沙特乌斯曼尼亚）

该工厂利用数字化技术引入更高效、更绿色、更安全的工作方式

施耐德电气（法国勒沃德勒伊）

有着 50 年历史的工厂意识到，唯有通过部署数字化工具，才能在未来 50 年继续保持价格竞争力

西门子工业自动化产品（中国成都）

消费者需求增长要求其通过数字化转型来提高质量绩效

塔塔钢铁（荷兰艾默伊登）

利用清晰的数字化路线图来实现大规模端对端转型，从而提高 EBITDA¹

UPS 参股的 Fast Radius 公司
（美国芝加哥）

格林菲尔德工厂支持第四次工业革命技术促成的全新商业模式



资料来源：“灯塔工厂”

¹ 息税折销前利润 (Earnings Before Interest, Tax, Depreciation and Amortization)；² 企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)；³ 制造企业生产过程执行系统 (Manufacturing Execution System)；⁴ 产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management)；⁵ 虚拟现实 (Virtual Reality)；⁶ 先进分析 (Advanced Analytics)；⁷ 销售和运营计划 (Sales and Operations Planning)

五大用例	影响	要点
制程品控	↓ 不适用 报废	能力构建是数字化转型的关键，组织可用“数字学院”和“智能实验室”为员工提供技能培训
根据线上产品自动换模	↓ 50% 换线时间	
端对端供应链同步	↓ 35% 库存	
数字方向设置	↑ 不适用 可靠性和 OEE	
建模和模拟	↓ 不适用 检测时间	
机器报警聚合	↓ 不适用 警报反应时间	与高校合作，为技能构建和专项活动提供支持，确保较高的员工参与度
用数字仪表盘监控 OEE	↑ 11% OEE	
基于传感器的 KPI 汇报	↑ 不适用 机器状态透明度	
成本建模	↑ 不适用 成本核算精度	
增材制造（3D 打印）	↓ 不适用 上市时间	
参数设计和制造	↑ 41% 工程生产率	让一线员工高度参与新用例的开发
用数字线程贯穿生产流程	↑ 38% 一线员工生产率	
商业智能平台	↑ 不适用 决策质量	
实时处理控制系统	↑ 不适用 机器 OEE	
无人驾驶车进行检测	↓ 5% 环境废料	
资产预测分析	↑ 2% 能源效率	与高校合作，为数据科学和机器人领域的专家开发一款专用程序
资产绩效管理	↑ 3% 可靠性	
为一线员工配备可穿戴设备	↑ 10% 劳动生产率	
分析和人工智能中心	↓ 12% 维护成本	
通过物联网进行预测性维护	↑ 7% OEE	
用混合现实开展维护工作	↓ 20% 诊断/维修时间	员工从一开始就参与数字化转型，利用虚拟现实等数字技术来沟通愿景
通过物联网进行能源管理	↓ 10% 能源成本	
精益数字化	↓ 不适用 精益分析时间	
智能供应链 – 自动导引车	↓ 80% 循环取货时间	
数字绩效管理	↓ 40% 百万缺陷率	
ERP ² /MES ³ /PLM ⁴ 整合	↑ 100% C/O ⁵ 质量保证	用可扩展的物联网架构来支持新用例的部署
3D 模拟生产线	↓ 20% 周期	
一线员工数字化辅助系统	↓ 100% 客户投诉	
自动化实施	↓ ~45% 的劳动减少量	
基于 AA ⁶ 的图像识别	↓ 50% 成本收益损失	
基于 AA 的原材料选择	↓ 不适用 原材料成本	通过数字学院为组织内各级别的 200 多名员工提供数据分析和数字工具方面的培训
基于 AA 的产品质量优化	↓ 80% 废品率	
焊接质量预测	↓ 50% 减少补焊	
基于人工智能的销售和运营计划 ⁷	↓ 50% 交付延迟	
通过 3D 打印快速设计原型	↓ 89% 上市时间	
高级数据分析平台	↑ 95% 直通率	敏捷工作模式支持新用例实施和产品改进
数字孪生工厂网络	↓ 不适用 生产周期和成本	
3D 质量扫描	↓ 不适用 质检工作量	

3. 理解“灯塔工厂”：特征、差异和成功因素

“灯塔工厂”特征

人力资本注入器

很多人都担心机器会取代人工。然而，这些“灯塔工厂”部署第四次工业革命技术的本意并非取代人类操作员。麦肯锡的一份报告指出，基于当前的技术，只有不到 5% 的职业会百分之百实现自动化，还有 62% 的职业至少有 30% 的任务可以实现自动化⁶（见图 4）。

因此，生产部门员工的工作方式会得到改变：重复劳动减少，工作的趣味性、多样性和生产率会提高。随着周遭环境的变化，各个职业阶段的员工都会肩负新的任务和职责，利用人类独有的技能去做出动态决策。

重设标准的行业领导者

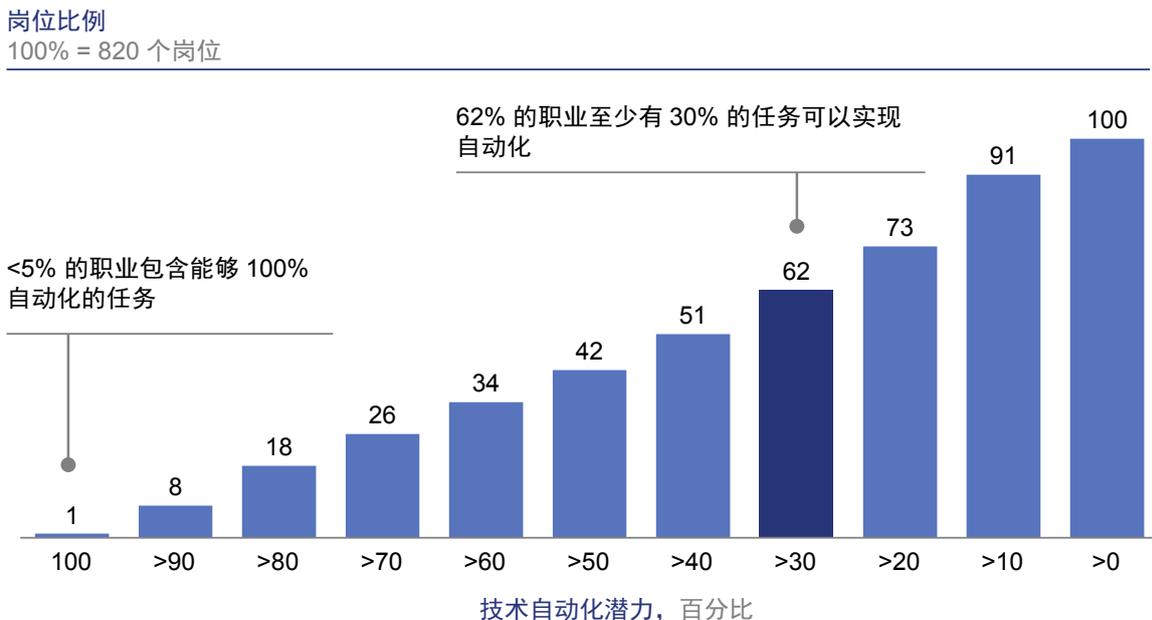
过去几十年来，工厂一直在不断推进改进措施。然而，第四次工业革命超越了这种渐进式转变，直接重设了行业标准。“灯塔工厂”采用了不同的用例来改变运营方式。平均来看，

每个“灯塔工厂”都拥有 10 至 15 个先进用例，并且有 10 至 15 个用例还在开发中。他们正在重设运营和财务关键绩效指标 (KPI) 的行业基准。有的“灯塔工厂”甚至拥有超出内部预期两倍之多的绩效。借助这种革命性方法，“灯塔工厂”大幅调整了自身的运营模式，绩效也上了一个台阶。在此之后，它们便可借助第四次工业革命的新技术和新能力加快持续改进速度（见图 5）。

开放的创新者和协作者

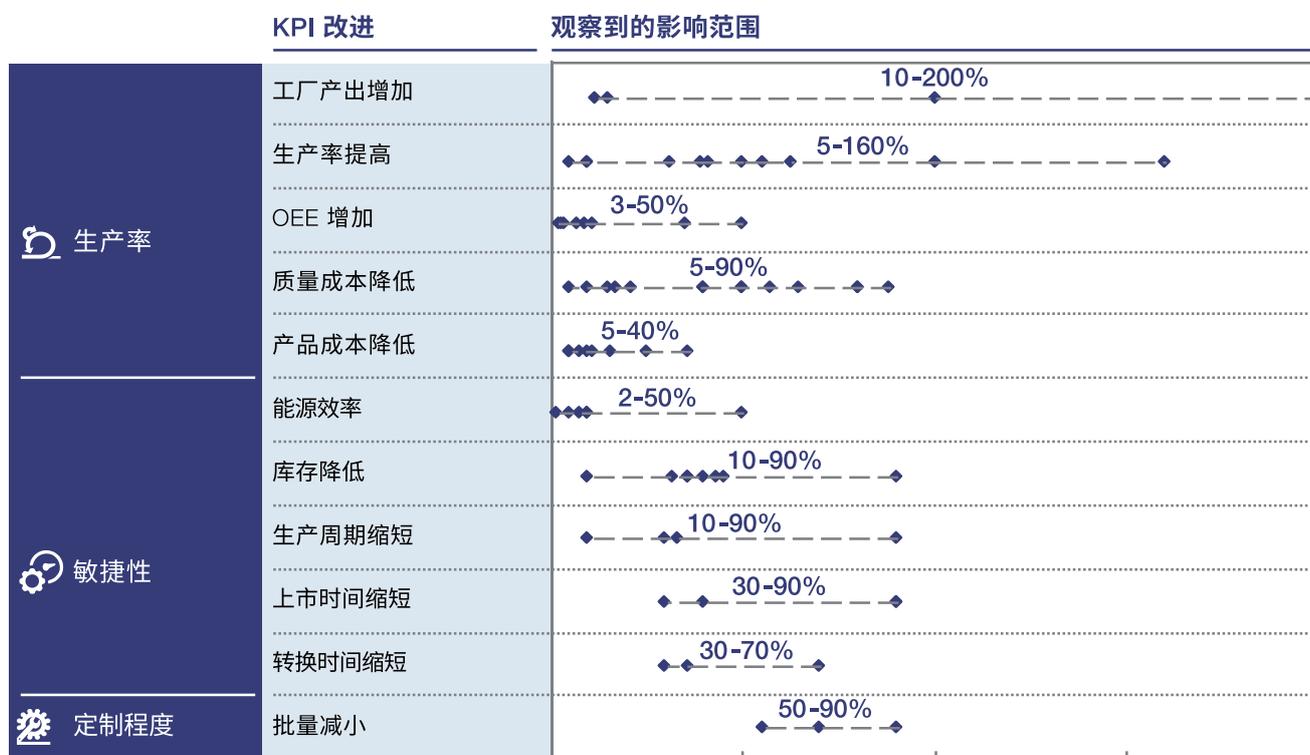
这些“灯塔工厂”证明，第四次工业革命不必是一场孤独的航行——灯塔的光芒可以照亮前方。事实上，“灯塔工厂”隶属于一整套创新体系，其成员还包括高等院校、新创公司和其他技术提供商。“灯塔工厂”筛选了数以千计的技术提供商，最终确定了一套能与之开展密切协作，并在生产车间开发解决方案的系统。

图 4：人工活动的自动化潜力⁷



资料来源：麦肯锡公司

图 5：第四次工业革命用例对“灯塔工厂”某些 KPI 的影响



资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司的“灯塔工厂”分析

在一个日益数字化的世界中，企业理应担心和保护自身所有的系统和技術。但“灯塔工厂”发现，敞开大门所能带来的利益和增长机会，要远超竞争构成的潜在威胁。通过开发优秀的知识产权及网络安全政策和协议，“灯塔工厂”有效地保护了自身安全，能够在促进协作的同时最小化风险。他们的大门不仅向亲密的合作伙伴开放，每年还会热情接待成千上万的参观者。

大企业和小公司

值得注意的是，第四次工业革命的创新成果并非只为大企业独享，通过关注无需大笔投资的务实性方案，中小企业可也能实现革命性转变。海纳中小企业的重要意义可以在两方面得到体现。首先就是对国家。数据表明，中小企业在创造就

业上扮演着无可比拟的作用。例如，多数经合组织成员国中，60% 至 70% 的就业都来自于中小企业⁸。除此之外，中小企业也是供应链的核心组成部分。因此，若能将他们纳入数字化进程，整个行业的供应链就都会得到优化。

新兴和发达经济体

很明显，第四次工业革命的技术成果并不只为发达经济体所独享。事实上，中国在这方面体现了绝佳的领导力，因为其“灯塔工厂”数量领先全球。剩下的“灯塔工厂”则基本都在西欧。这表明，与降低劳动力成本相比，通过第四次工业革命获得的其他财务和运营效益要更加重要。

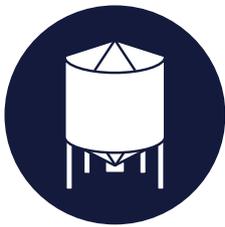
以最少的设备替换，实现较大的影响

人们常有这样的误解，认为传统陈旧的设备会成为第四次工业革命的障碍。但实际上，大多数“灯塔工厂”都是通过对现有老工厂的运行进行转型提升实现的。他们会连接和优化

现有基础设施，并配备新的机械装置来强化其能力，这样便可实现很多与第四次工业革命有关的效益。与第一和第三次工业革命不同，第四次工业革命仅需替换较少的设备，就能实现较大的影响（见图6）。

图6：每一次工业革命的设备更换要求

第一次工业革命
水/蒸汽



第二次工业革命
电力



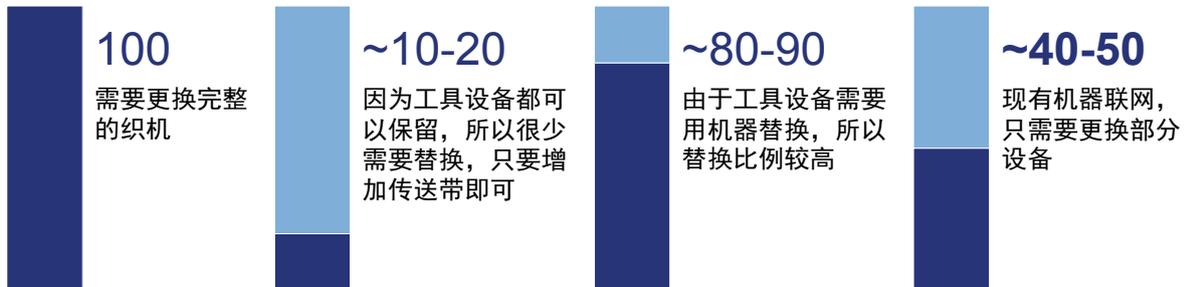
第三次工业革命
自动化



第四次工业革命
信息物理系统



设备更换
已安装量的百分比



资料来源：德国联邦统计局；德意志联邦银行；普罗诺斯研究所 (Prognos)；Thomas Nipperdey；麦肯锡公司

4. “灯塔工厂” 如何实现大规模影响？

这些“灯塔工厂”克服了企业面临的典型挑战，比如从事过多的概念验证、推广速度过慢、缺乏跟技术有关的整合性商业案例、部署太多孤立解决方案、创造无数的数据孤岛等。他们是如何克服五花八门的典型挑战，最终实现革命性影响，并获得敏捷而持续提升呢？在一系列特征和品质中，我们发现，“灯塔工厂”遵循了两种独特而互补的扩展路线。除此之外，还有五大明确的价值创造方式和四种独特的能力脱颖而出。当前只是对路径、差异化因素和能力稍作简介，附件会以先进的工厂为例展开深入分析。

制定扩展路线：两条路径

这些“灯塔工厂”证明，拥抱第四次工业革命的方法不止一种：制造业先锋在规划未来时，可从两条发展路径中做选择。这两条路径并非水火不容，而是相辅相成（见图 7）：

- **生产系统创新。**通过卓越的运营，企业可以扩大自身竞争优势。它们旨在优化生产系统，提高运营效率和质量指标。通常情况下，企业都会在一个或几个工厂先行试点，然后逐步推广。
- **端到端价值链创新。**通过改变运营经济性，企业可以创造新业务。它们将创新部署到整个价值链中，通过推出新产品、新服务、高度定制化、更小的批量或者更短的生产周期，来为客户提供全新或者改良的价值主张。企业会先在某一个价值链上实施创新和转型，然后逐步将其经验和能力延伸至其他部门。

图 7：利用新的颠覆性技术产生战略性商业价值的两种方法



资料来源：麦肯锡公司；“灯塔工厂”

产生规模化影响的价值驱动因素

从“灯塔工厂”身上，我们找出了五种价值创造方式。这些差异化因素改变了企业利用技术的方式、人们与科技的互动方式，以及科技对商业决策和商业结果的影响方式。

大数据决策

决策的基础是大数据，不是假设；大数据的解读由模式识别算法进行，而不是人类。（请参见附件，了解博世汽车和 Maana 公司的观点。）

科技民主化

为了更好更快地完成任务，一线员工开始开发自己的应用和解决方案来实现自动化和便利化，由此可见，生产车间里的技术正在改变人们的工作方式。（请参见附件，了解 Tulip Interfaces 公司和 Fetch Robotics 公司的观点。）

敏捷工作模式

“灯塔工厂”采用敏捷工作模式实施新用例，以便在短时间内验证概念，并根据所学知识和经验改进方案，迅速从试点阶段进入扩展阶段。这一过程只需数周，而非数年。在某些情况下，模范工厂或试点技术部门会充当孵化器的角色。（请参见附件，了解 Fast Radius 公司和博世汽车的观点。）

最小化新增用例的成本

用最低的附加成本部署用例，以便工厂可同时在多个领域推进。（请参见附件，了解微软和 Fetch Robotics 公司的观点。）

新商业模式

“灯塔工厂”借助第四次工业革命技术开发了新的商业模式，对传统商业模式和价值链形成了补充和 / 或颠覆。（请参见附件，了解某匿名欧洲消费电子产品制造商的观点。）

扩展推动因素

“灯塔工厂”展示了四种独特能力，它们也是决定成功实施与否的重要因素。这些能力都是企业在前期努力中刻意培养的，往往都是高管的优先考虑事项。

战略和商业案例

“灯塔工厂”均制定了参与第四次工业革命的战略，该战略与基本商业价值的创造密切相关，且信息清晰明确、得到大家认可、覆盖整个企业。（请参见附件，了解宝马的观点。）

可扩展的物联网基础架构

“灯塔工厂”都拥有一套易于扩展且开发并易于集成的物联网基础架构。所有信息均流入中央数据湖，应用之间通过标准化的接口进行信息集成。据数字麦肯锡的一项调查显示，在选择物联网平台时，系统间的标准化接口能力以及开放标准都是核心考虑要素⁹。（请参见附件，了解惠普和 Precognize 公司的观点。）

能力提升

“灯塔工厂”都很重视能力提升。数字化学院和智能工厂让所有员工都可以学习新数字用例的基础知识，并通过平稳而高效的方式进行实施。另外，“灯塔工厂”会通过投资来提升员工能力，确保其团队拥有数字化翻译员、信息技术 / 运营技术 (IT/OT) 集成者和变革管理者。他们会对现有员工进行培训，确保他们能够胜任新职责，也会从外部招募新员工。（请参见附件，了解塔塔钢铁的观点。）

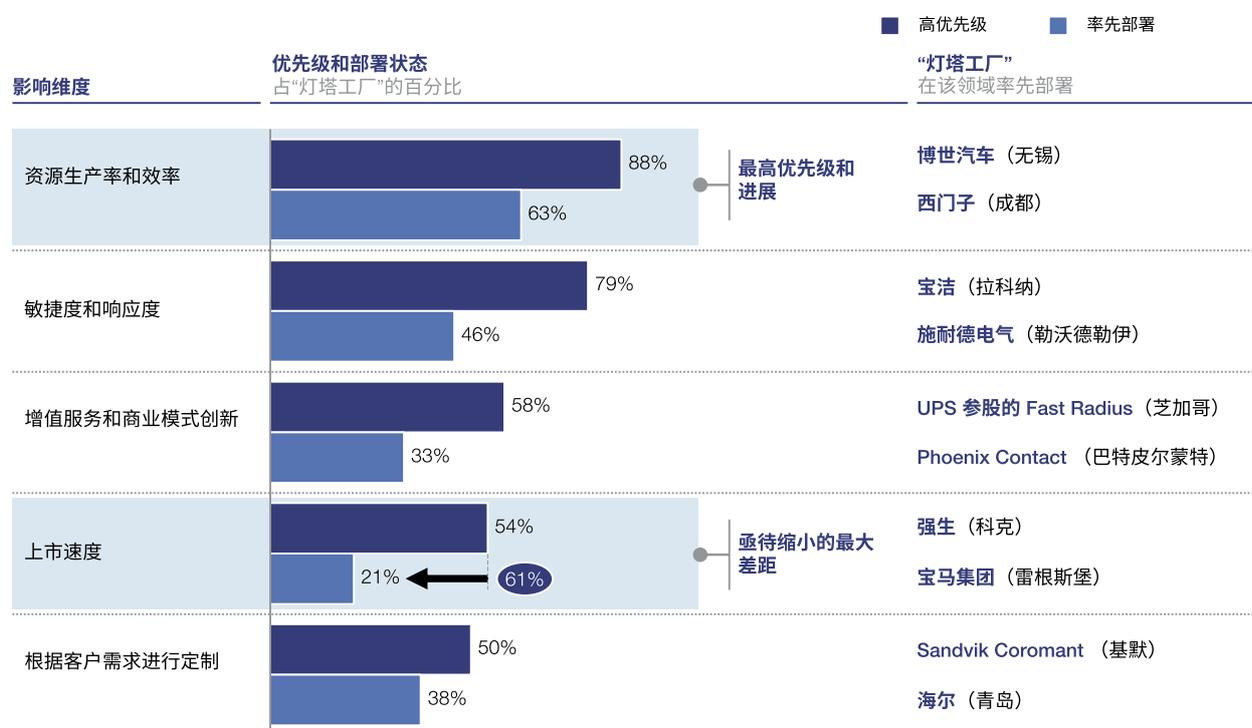
员工参与

在这些“灯塔工厂”里，领导者扮演了变革模范的角色，通过多种渠道清晰传递变革信息，确保所有员工都感觉自己是这场旅程的一份子。员工都会积极参与用例的开发和部署。（请参见附件，了解施耐德电气的观点。）

“灯塔工厂”现状

在第四次工业革命的创新进程中，这些“灯塔工厂”身处哪个阶段？值得注意的是，虽说这些工厂已领跑第四次工业革命，但转型是个永不停歇的过程，他们都还有进一步提升的潜力。而且数据显示，就许多商业驱动因素而言，工厂的理想与现实之间都存在差异，其中上市速度最为明显。例如，图 8 显示，虽然有 54% 的“灯塔工厂”认为“上市速度”很重要，但只有 21% 的工厂在这方面表现优异。因此，很多工厂都会在未来勇于提升这些方面。

图 8：不同影响维度的优先级和部署状态



资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司的“灯塔工厂”分析¹⁰

在生产中推广第四次工业革命技术并克服“试点困境”的三种工具

世界经济论坛与麦肯锡公司于 2018 年 1 月联合发布了一份题为《下一个经济增长引擎 – 在生产中推广第四次工业革命技术》(The Next Economic Growth Engine – Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production) 的报告。它针对在制造业部署第四次工业革命技术带来的利益和付出的努力，提供了深刻洞见。本报告介绍了三种加快普及速度的工具：价值交付引擎、扩展引擎和政府框架。价值交付引擎由制造业的第四次工业革命的 39 个生产用例塑造，强调了智能化、网联化和灵活化三个属性。扩展引擎描述了扩展技术的最佳方法，包括动员、战略和创新等元素。政府框架确定了利益相关者可以通过哪些行动来加快技术普及速度。

如果通过加强生产率和灵活性进行转型，制造业可以实现普惠性的经济增长和全球利益。然而，对多数组织来说，要实现这些利益都要面临严峻挑战。我们之前的研究表明，第四次工业革命技术在生产中的普及速度仍然很慢，超过 70% 的工业企业仍然深陷“试点困境”。只有 29%

的企业通过积极措施大规模部署了第四次工业革命技术，还有更多企业 (30%) 尚未进行试点，或者才即将开始试点。

对于那些仍在试点的企业，很明显可以看出试点往往很漫长和 / 或很复杂。只有 15% 的受访者表示试点项目需要不到 1 年；56% 的受访者表示需要 1 至 2 年；还有 28% 表示试点超过 2 年。多数公司迟迟难以全面推广，原因包括：难以平衡价值与投资回报、数字化对业绩的价值存在不确定性，以及实施和扩大数字化项目需要花费不菲的成本。

如果一家企业希望实现第四次工业革命转型，摆脱“试点困境”显然仍是一大挑战。世界经济论坛提供的工具可以帮助组织向前迈进，实现大范围普及第四次工业革命所带来的巨大利益。

5. 大规模部署的成功案例：详细分析两家“灯塔工厂”

这部分将详细介绍两家“灯塔工厂”。他们风格迥异，却都成功大规模部署了第四次工业革命技术。对这些工厂进行细致观察，有助于我们深入了解制造环境中的广泛变革。行业领导者可从这些细致观察中学习第四次工业革命的展开方式，深入了解其中蕴含的回报、机遇和挑战。两家“灯塔工厂”分别为宝洁的拉科纳工厂和 Rold。前者代表大型跨国公司，其工厂层面和集团层面均部署了第四次工业革命用例；后者则代表中小企业，它成功在一个工厂中部署了不同用例。

宝洁（捷克拉科纳）：成本领先型增长

宝洁拉科纳工厂向我们证明，面对不断变化的客户需求和不断上升的市场压力，利用第四次工业革命提高生产率可以保证就业。

工厂历史

拉科纳工厂距离布拉格 60 公里，建成于 1875 年，是宝洁历史第二悠久的工厂。在共产主义时期，该工厂曾经是国有资产，后于 1991 年被宝洁收购。每天，这里可以生产约 400 万瓶洗碗液、洗碗粉，以及织物增强剂。随着人们对洗涤产品的需求从干粉转向液体，在 2010 至 2013 年间，宝洁的销售额大幅下滑。面对这一挑战，该工厂启动了一个项目，以期大幅压缩成本，吸引新业务。项目实施后，这座工厂的成本不断降低，需求也逐渐攀升，最终在 2014 和 2016 年间决定扩张。为了成功实施这种扩张，就需要拥抱数字化和自动化，并且全方位利用第四次工业革命带来的能力，以此来预测和解决新兴需求。

包容性愿景

尽管面对着经济压力和各种不确定性，拉科纳工厂还是希望打造一个有弹性并且可持续的未来。他们清晰阐述了自身的愿景：“我们是拉科纳，我们创造未来。”厂长 Aly Wahdan 说：“这一愿景是所有员工一起敲定的。它既表达了我们对于拉科纳满满的自豪感，也表明了我们亟需开发有吸引力的解决方案的紧迫性。我们会在工厂内积极探讨这一愿景，将所有员工纳入这场创新之旅，通过最小化损失来提升竞争力。”有了这一愿景，拉科纳工厂在两个核心推动因素的支持下，成功开展了第四次工业革命创新。这两项核心推动因素是：

- **利用外部数字环境：**拉科纳的领导层发现，内部团队缺乏促进第四次工业革命创新的必备技能，因此采取了对应措施。他们以多种方式从外部获取数字化和自动化知识，包括：与布拉格的大学建立直接联系、与创业公司展开合作，并且通过学生交流项目让受过数字化教育的学生与拉科纳员工并肩工作。
- **提高员工技能水平，塑造未来工作模式。**该工厂开发了一个对所有员工开放的项目，旨在加深他们对数据分析、智能机器人和增材制造等新技术的理解，并拉近与这些技术的距离。通过这种方式，员工习得了一些专业技能，诸如“网络安全主管”这样的新职位也得以建立。

这种“拉”的方式有别于自上而下实施的“推”的做法，是打造包容性创新文化的关键。其目标是让整个组织 100% 地参与数字化转型。

五大用例

“灯塔工厂”对用例的挑选各不相同，但他们都能从中获益。对宝洁拉科纳来说，前五大用例分别是数字化方向设置、制程品控、通用包装系统、端到端供应链同步，以及建模和模拟。

- **数字化方向设置**是一套数字化绩效管理系统，在技术和管理系统中都可产生影响。它既能解决数据收集流程艰难且耗时的问题，又能避免根据不精确的数据点来制定决策的情况。数字化方向设置工具会直接在生产车间的触摸屏上显示实时 KPI，让用户得以在多个层面研究数据，以便理解绩效背后的推手，并找出造成偏差的根本原因。此外，该系统还可以用于调度和追踪一线员工。这样一来，整套系统的执行就会更为严格，其流程可靠性和设备综合效率 (OEE) 也会得到提升。采用高频测试和迭代的敏捷开发方法后，整个工厂都能成功实施数字化转型。
- **制程品控**可以解决之前人工取样过程中存在的问题，因为后者无法保证同一批次的产品每一个质量都达标，后期如果发现偏差，整个批次都要报废和返工。此外，制程品控还解决了跟实验室分析有关的产品发布推迟问题。

当前，品控是基于对多种数据展开的实时分析。这些数据来源于多个传感器，它们会监控 pH 值、颜色、黏度、活动程度等信息。如果发现偏差，对应的生产线就会停工，一线员工会查明批次质量，并撰写报告。这套系统由宝洁开发，是业内首款此类系统。在 IT/OT 整合的促进下，宝洁首先在新生产线上对其进行了测试，接着再向整个系统推广。减少了重复性手工劳动后，员工也更为轻松。就结果来看，返工和投诉比率减少了一半，报废和质检也大幅减少。由于实现了零时产品发布，产出时间缩短了 24 小时。现在，所有生产线上都已部署了该用例。

- **有了名为 UPack 的统一包装系统后**，即便生产线处于运行过程中，也能轻易实施任何配方变化。以前，只有生产线彻底停工才能完成转换。这就意味着一线员工需要花费很多时间在手动设置机器和等待上。这套在宝洁集团层面开发的系统，现已经部署到了所有包装生产线上。该系统完全整合了传感器、摄像头、扫描器和包装材料，可以检视和验证每个区域的现状。不同于纸质数据记录模式，UPack 采用的是自动化生产线检查技术，这样，包装生产线的每个区域就都能处于不同阶段（例如，启动、生产、空载或转换）。基于系统存储的配方数据和制程质检，UPack 还能自动配置机器。有了这一系统，令一线员工烦心的交接任务就可大大减少，交接时间也缩短了 50%，最小订单量也降低了 40%。
- **端到端供应链同步**已经解决了几个问题，包括每次活动结束后过量产品的报废、库存资本约束、上市速度缓慢，以及艰难而费时的手动供应链分析。基于不断变化的用户需求，宝洁对产品进行不断改良，最终才有了这个全球化工具。它被应用于工厂管理层面，每个部门都会使用，与中央规划团队进行协调。宝洁会用这个基于互联网的工具进行分析建模和模拟，以便清晰地观察供应链的端到端情况。通过模拟不同情况下整个供应链的状况，识别出问题所在，从而提升供应链敏捷性。该工具能够在每个节点显示供应链全信息，并深入分析和优化每个产品和生产线。它还能在宝洁不同工厂和生产线之间起对标的作用，以便相互比较。将这套工具应用于所有产品和生产线后，3 年间库存减少了 35%，库存效率在前一年提升了 7%。它还减少了退货和缺货数量，并改善了新产品推出后的上市速度。

- **建模和模拟**能解决很多问题，包括了解调整生产线调整带来的影响、减少生产设置的测试成本，以及在运营前就识别出新产品缺陷，以避免高昂的纠错费用。这个用例涉及多种大规模使用的描述性和诊断性建模应用，以及部分预测性试点建模应用，上述建模应用都以达到规范性建模能力为目标。样本建模应用包括与新产品发布有关的制造产出（例如，向生产线推荐 SKU 分配、存储罐数量）、选择最佳传送带速度、确定理想包装尺寸、在真正执行之前模拟生产线的变化、提前预测失败以及识别根源未果。直观的模型和工程师的操作性是重要的推动因素。这种方法能将失败扼杀在摇篮中，从而改良产品设计、提炼问题陈述，以及优化测试方法。

成就、影响和未来

拉科纳工厂的创新经验向我们展示，一家“灯塔工厂”在拥抱第四次工业革命后，可以产生怎样的实质性影响。3 年内：

- 生产率提升了 160%。
- 客户满意度提升了 116%。
- 客户投诉减少了 63%。
- 工厂整体成本降低了 20%。
- 库存降低了 43%。
- 不合格产品减少了 42%。
- 转换时间缩短了 36%。

该工厂并不满足于当前取得的显著成就，而是立足未来，制定了更加宏伟的目标。其中包括“无人值守”运营、根据实际情况自动维护、借助价格实惠的协作式机器人实现自动化，和端到端供应链同步。全球产品供应官 Yannis Skoufalos 说：“我们的目标是创造端到端同步的供应网络，让零售客户、宝洁和供应商都能高效地无缝运营，让宝洁的产品在 24 至 48 小时内就能出现在商店的货架上。”要实现拉科纳工厂的愿景，就要持续不断地创新和改良。这家“灯塔工厂”始终在努力践行自己的使命：“我们创造未来。”

Rold（意大利切罗马焦雷）：在中小企业实施第四次工业革命

意大利的 Elettrotecnica Rold Srl 是一家只有 250 名全职员工的中小企业，专门生产洗衣机门锁。该公司在切罗马焦雷的工厂是一家非常小型的组织，但通过大规模应用数字化制造技术后，其生产率和质量得到了极大的提升。这证明，即便投资规模有限，也可以借助现成的技术，通过与技术提供商和高等院校的合作来开展第四次工业革命创新。比方说，Rold 就只聘用了 3 名程序员。

革命性变革：今昔对比

在进行数字化转型前，Rold 因自身产能无法满足国际客户日益增长的需求而面临巨大压力。除此之外，工厂还存在其他一些问题，包括难以看清自身实际表现，以及通过非集中化的方式在纸上记录数据。一线员工需要花费大量时间手动制作报告，而且，大部分的业务决策都是通过假设和经验进行的，严重影响运营效率。Rold 的总裁 Laura Rocchitelli 说：“我们引入数字化制造技术的原因有所不同：首先是为了提高生产效率。如果能够实时监控生产进程，就可以提高机器利用率，并且提升每台机器的效能。”

她的观点也得到了生产车间工人的赞同。模具部门负责人 Stefano Bosani 分享了自己的观察：“这个数字平台让主管和员工都能持续关注流程，有机会提升效率，从而优化制模进程。该平台不仅灵活，而且还在持续改进，在不断根据用户的需求和建议推出新功能。各个级别的员工都可以主动参与新功能的开发。”模具部门的一名员工说：“借助这个平台，工人们可以实时看到生产的结束时间，以为后续订单生产做准备。另外，减速和故障原因的可视化让一线员工可以参照客观数据，而非仅凭主观认知来确定哪些活动可以改进生产。”

除内部改良外，Rold 还带动了各大洗衣机原始设备制造商 (OEM) 的数字化转型。通过使用一套自动化订单和可追溯数据交换系统，整个供应链的数字化整合程度都会得到提升。这不仅提高透明度，还能减少人力投入。此外，新的数字化能力让 Rold 可以创新出智能、互联的产品，帮助洗衣机 OEM 为客户提供新服务。

关键推动因素

Rold 通过实例展示了“灯塔工厂”的特征：通过改变管理和沟通方式来实现改进。借用一系列旨在转变组织思维和提高技能水平的项目，该公司已在人力上展开投资，促使他们沿着技术踏上数字化之旅。Rocchitelli 为我们描述了一些挑战：“首先，我们必须在员工中培养一种包容而非排斥的意识，让他们认识到在生产车间使用数字化技术可以产生巨大的机会。”

公司还鼓励供应商、客户、最高管理层和一线经理参加行业相关活动。Rold 还跟设计师、工程师、员工和外部研究人员等许多群体进行了一些指导互动，重点关注问题解决、创造力、变革管理、沟通和创新等问题。该公司还跟行业和创新伙伴建立了关系，并与国际高校和协会代表开展联系。他们对人才管理的重视体现在很多方面，例如，与中学和大学院校合作设立技术实习模式、跟国际和国内大学开展合作、让员工参加国际培训和相关会议。

至于组织和治理方面，该公司还致力于让各类人员掌握必备技能以推动创新，包括让软件开发者和电气工程师学会建模、开发和实施物联网应用，并让工业工程师掌握数字化集成技能。这些措施可以与董事会批准的数字化转型项目相辅相成，还能让组织内部各级别员工都能接受全面的第四次工业革命培训。Rocchitelli 称：“为了完成此次转变，大家需要有共同的目标，以及坚定的态度。”

五大用例

- **对机器报警进行整合、明确优先顺序，并用数据分析来解决问题**可以提升整体设备有效性（OEE）。因为一线员工能够查看具体机器的故障信息，还能在智能手表和互动显示屏上自定义警报。
- **使用数字仪表盘监控 OEE** 有助于实时监控分布在不同工厂的生产资源。这让一线员工能够找到停工故障的原因。
- **基于传感器的制造业 KPI 报告**能让任意类型的生产机器实现数字化，它还能实时收集生产数据，用于构建动态的互动式仪表盘。
- **成本建模可以用于决定“独立制造还是对外采购”**，这种方式可将生产车间物联网设备收集的粒度数据与商业智能工具结合起来，借此增加 Rold 成本模型的精度。这是一个持续不断的发展过程。
- **通过 3D 增材制造快速设计原型**缩短了新产品推出后的上市时间，还贡献了几项创新。这加强了与高校之间的关系，还获得了用于研究项目的经费。Rold 在这一领域取得的进展使之荣获“2018 伊莱克斯创新工厂奖”。

成就、影响和未来

第四次工业革命第一批用例的实施，帮助 Rold 实现了巨大的财务和运营影响。在 2016-2017 年间，Rold 公司的总营收增长了 7-8%，其背后推手则是高达 11% 的 OEE 增长。

在 Rold 构想的工厂中，数字化解决方案和自动化技术可以为一线员工提供最好的支持，实现产量最大化，同时提高员工满意度和自主性。Laura Rocchitelli 解释道：“在生产车间层面应用数字技术后，Rold 得以设计一个以人为核心平台。”

6. 行动号召

公司希望利用其积累的知识和专业技能，去支持自身供应链的数字化转型。此外，Rold 旨在通过定期交流最佳实践来推动增长和发展，交流对象包括那些处于第四次工业革命创新前沿的其他工厂和高等院校。

行动原因

打破生产率的停滞状态

最近 10 年，经合组织成员国的制造业生产率停滞不前，需求愈加分散，劳动力老龄化越来越严重，创新更是姗姗来迟。少数企业已成功跨越试点阶段，在实践中大规模推广第四次工业革命带来的创新。它们以最小的员工取代数实现了效率的空前提升。然而，多数企业似乎仍深陷“试点困境”中。如果企业和政府能够齐心协力，大规模推广第四次工业革命技术，全球范围内的财富便能实现可观增长，为所有人民带来福祉。

来自各方的压力

全球人口快速增长，环境可持续性面临挑战，21 世纪的社会面临巨大压力。世界经济论坛创始人兼执行主席克劳斯·施瓦布 (Klaus Schwab) 说：“跟第四次工业革命有关的挑战恰逢生态约束快速涌现、多极化世界秩序出现，以及不平等日渐加剧之际。”¹¹ 联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 表示，工业需要经历快速、深远、空前的变化，才能把全球气温上升控制在 1.5°C 内，避免因全球变暖而对生态系统、人类健康和幸福产生挑战性影响¹²。类似地，全球足迹网络 (Global Footprint Network) 的一份研究显示，当今全球资源的消耗量已达目前可用资源的 1.7 倍¹³。

机遇和挑战并存

公私领域的领导者都深知第四次工业革命能够带来的巨大利益：70% 的工业组织要么在制造部门试点第四次工业革命技术，要么在大规模部署这些技术。战略，倡议以及项目在各个层面都已部署到位，确保这些利益能够实现。例如，很多国家和地区都投资打造了国家平台，希望提高对制造业第四次工业革命的重视，支持新用例的开发，并促进研究机构与私有组织之间的协作¹⁴。

然而，第四次工业革命也暗含风险，需要从一开始就加以注意。如果管理不当，可能会加快“双速世界”的出现。革命中领跑者与落后者之间的鸿沟，可能会加剧财富创造的不平等。制造业岗位可能会大规模流失，重要资产可能会面临网络攻击风险，而为数不多的人工智能提供商则会获得支配性市场地位。

企业和政府应该合作，确保所有公司都能享受到技术扩散带来的益处。而关键就是通过培训提高劳动者技能水平。现在，62% 的职业都有 30% 的任务可以实现自动化¹⁵，所以对劳动者展开培训，让他们为变化做好准备，是成功实施第四次工业革命的重要步骤。第四次工业革命有望将工厂变成富有创造力和创业精神，而且激动人心的工作场所。若能通过培训来提高技能水平，当今的生产线工人便可以在解决问题和创新的过程中扮演有价值的角色。未来，这样引人入胜、振奋人心工厂就有望吸引到最优秀、最聪明的员工。

必要行动

在第四次工业革命的推动下，为了确保制造业生态系统的转型过程能够尽可能顺畅，同时避免加剧不平等程度和催生“赢家通吃”的结局，公共和私有组织领导者需要负责任地采取行动。他们有能力影响第四次工业革命的结果，并主动采取以下行动来降低这些风险。世界经济论坛识别出了一系列基于价值的行动，来支持技术在全球范围内的“公平”扩散：

增强一线员工的能力，而非取而代之

工厂应该通过部署技术让人类操作员集中精力参与最有增值效应的活动，以便最大程度地发挥人类的决策能力和对新环境的适应能力。与此同时，工厂也可以增强工作场所的吸引力¹⁶。

提供投资来提升能力，并实现终身学习

制造业的第四次工业革命会改变很多职位要求，还会在组织内部和组织之间取代一些员工。私有和公共组织必须让自己的员工做好准备，迎接第四次工业革命带来的转变，包括调整教育系统，通过投资加强培训，实现终身学习等，从而建立一个机动灵活的劳动力群体，更好地受益于第四次工业革命带来的机遇。这不仅能够帮助到员工，还能给公司带来利益，因为技能短缺是阻碍技术普及的最常见障碍。

跨地区广泛推动新技术，海纳中小企业

想发挥第四次工业革命的全部潜力，就必须改变整个价值链和生产生态系统，并涵盖所有地理区域和众多中小企业——后者为经合组织成员国贡献了 50%-60% 的附加价值¹⁷。因此，企业应该把第四次工业革命技术推广到他们的整个生产网络中，包括发展中经济体和各种规模的供应商。如此一来，不仅可以改善整体效果，还能确保知识得到更平等的传播。因此，政府领导者必须给予各个企业必要的支持，鼓励他们采用技术，出台激励措施，并提供与高等院校和技术提供商合作的机会。

提升网络安全，保护企业和社会

美国政府将网络安全视作“最严峻的经济和国家安全挑战之一”¹⁸。物联网的出现使得 500 亿台新设备新接入网¹⁹，这就使得威胁变得更加严重。黑客若是关闭工厂或滥用至关重要的资产²⁰，第四次工业革命前进的脚步就会被拖慢。为了阻止这一点，公私领域的组织都必须确保其网络安全基础设施已达最高标准。企业应该通过跨组织活动来进一步学习和发展网络安全，这样不仅能确保未来的经济发展，还可以保护员工、客户和当地社区。

在第四次工业革命的开放平台上协作，妥善处理各种数据

各大企业应与多家私有和公有组织合作，打造第四次工业革命的开放平台，降低对几家大型提供商的依赖，避免被供应商绑定。同时，企业也要确保自身能够访问大型数据库，从而改进数据分析算法并形成洞见。数据所有权可在协作者之间共享，但要制定明确规定，还要遵守极高的透明度，以避免数据遭到滥用。此外，企业还应集中存储数据，避免创造额外的数据孤岛，以免影响数据整合以及新用例的部署。

利用第四次工业革命技术来解决气候变化挑战

整个世界都面临气候变化带来的重大挑战，联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 最近的报告显示，到 2030 年必须减少 45% 的排放才能将全球变暖程度控制在 1.5°C 以下²¹。因此，工厂应该利用第四次工业革命技术来提高能效、增加产量，减少废物和排放，同时增强整体竞争力。

行动主体

遵照上述原则，世界经济论坛鼓励公有和私有组织加入灯塔网络，共同开启学习之旅。他们提供了有价值的洞见，帮助我们了解如何扩大技术的应用范围。

拥有“灯塔工厂”的组织

企业之间可以相互分享“灯塔工厂”的发展成果和最佳技术，从而加快技术在生产环境和价值链上的扩散速度。若能与政府和学界共同展开合作，科技的扩散力度也会大大增加。

没有“灯塔工厂”的组织

这些组织应识别出潜在的“灯塔工厂”，制定雄心勃勃的目标，提供支持，并追踪发展进度。“灯塔工厂”网络可以为潜在的“灯塔工厂”提供相关学习机会，还能提供工具来评估他们的成熟度。为了加速这一进程，这些组织还可以跟政府和学术组织合作。

技术提供商、新创公司和高等院校

它们可以跟“灯塔工厂”合作开发和测试第四次工业革命新用例，与此同时，了解需要通过新方案来应对的趋势和商业挑战。

打造全新的全球学习平台

在适应第四次工业革命的过程中，公私领域都面临重大挑战。比如，如何最大化技术的扩散、如何提高员工技能、如何克服网络安全等。已经确定的“灯塔工厂”相当于第一个路标。但后续还有很多任务：整个世界需要一个平台去学习第四次工业革命，这不是通过个体努力就能够实现的。

应利益相关者要求，可以通过公私合作的方式建设一个可扩展的全球化学习平台，为公共和私有组织及整个社会提供指导和方向。这可以促进跟第四次工业革命技术传播及相关挑战有关的对话。这个全球学习平台可以基于国家级项目的可用资产、各种技术开发和测试网络、各类标准制定项目，以及全新的“灯塔工厂”网络。有了这一平台，全球层面不同的措施就能够得到汇总，这样，该平台就会成为人们心中的“首选地点”，想了解制造业第四次工业革命的任何信息，都可在此查询。

附件：一窥“灯塔工厂” – 内部视角

身处第四次工业革命的工厂如何体现自身的“灯塔”特性？附件从内部视角出发，为读者提供更加具体的案例分析。除了经验总结，该部分还有从一线员工到高管等各类人员的洞见，帮助读者进一步洞悉第四次工业革命实践中的利益、挑战与机遇。

图 9：5 种不同视角凸显出“灯塔工厂”的价值驱动因素和扩展推动因素



1. 价值驱动因素

大数据决策

博世汽车（中国无锡）



博世汽车柴油系统有限公司 (RBCD) 从 2015 年起便开始运用大数据分析。当时，博世缺乏各类可直接利用的车间运行数据，例如设备的运行周期，零备件故障数据等。这些数据的收集耗时耗力，需要大量的人工收集和预处理。由于缺乏可用数据，RBCD 的车间优化工作计划不断被延后，即使收集了数据，质量也欠佳，有些静态数据因为只涉及某一时间，也很快过时而去失去可用性。

无锡的员工很快认识到实时数据的重要性，分析这些数据得到的洞见，可以帮助他们更快、更好地做出决策。这又进一步提高了企业的业务敏捷性，而要在中国市场保证竞争力，敏捷的业务模式至关重要。为了在 RBCD 进行试点，博世决定先在机械加工这一产品核心工艺上应用大数据分析。在上百台设备上运用大数据分析后，博世发现该方法有着巨大的推广潜力。

以博世其他工厂最佳实践为基础，无锡工厂利用标准化工具，在半年内构建了一套工业物联网框架，在信息上，链接了所有新装的设备状态传感器和切削工装。在该阶段，数据分析师与机械加工专家的相互配合十分关键。通过合作，他们可将数据可视化，利用日益强大的数据分析（包括诊断性分析、预测性分析和规范性分析）来生成个性化的报告。例如，通过分析，工厂员工深刻理解了切削工装的成本动因，能自动识别可延长使用寿命的工具类型，还能根据未来的需求，自动调整库存。

同时，无锡工厂希望打破部门间的隔阂，建立跨部门的共享。因此，他们一开始就把这些报告提供给所有相关部门的中高层管理人员，借此收集和整合他们的用户体验。到 2017 年中，这种方法带来了两位数的工装成本削减，且通过该实例应用，激发了博世整体对大数据应用的热情，例如预测性维护或瓶颈分析。过去需求高涨的关键两年间，这些应用在某些地区增加了超过 10% 的产出，在确保产品交付和客户满意度上发挥了作用。无锡工厂还让工程师掌握了各自领域的基本数据分析方法。结果，大数据分析如今在整个 RBCD 组织内为决策提供支持，包括生产、物流、质量管理和控制等。

Christophe Chapdelaine，博世汽车柴油系统（无锡）有限公司制造和质量管理高级副总裁



“数据分析为我们提供了新的方法和洞见，帮助我们提高质量、生产率和交付速度。在我们行业，商业环境变化多端，竞争激烈，更快、更敏捷才能让客户更加满意。”

“我们在技术和商务上都在应用这些方法。所以要最大化利益，我们需要培养新的能力。另外，组织和领导层也需要适当调整改进才能支持这种转型。这种变革非常振奋人心，也有益于我们的声誉，能吸引更多的人才。而且在整个企业上下引入这种创新方案，让我们能更好地秉承‘科技成就生活之美’的理念，在为客户提供产品和服务的过程中取得优势。”

Babur Ozden，Maana 公司首席执行官兼创始人



“过去 6 年，Maana 一直在跟全世界最大的工业企业合作，帮助它们加快数字化转型。”

“企业在进行数字化转型时会很快明白，大数据的关键不是数据有多少（量）或有多快（实时），也不是有多少（增加）传感器、机器人或自动化。明白这点后，企业会意识到，不能仅仅用洞见来判断对大数据的投资是否值得。”

“对工业企业而言，大数据更大的价值在于大幅改进运营决策的制定流程。以往难度及成本高的事，现在可以实现了：换言之，实现了在‘在全局层面优化局部决策’。”

“例如，一家工厂决定减少返工、瓶颈和废料。在全厂层面（结合工厂的整体目标）能否优化某一工厂的决策（例如，在某一工厂的某一条件下进行返工）？如果该公司有多家工厂，又是否能在公司层面进行优化？再进一步说，如果有可能出现更大的订单，工厂在收到现有订单后应该马上开工，还是继续等待？”

“其实这种在全局层面优化局部决策的概念已经算是老生常谈。真正新的是，大数据让我们可以比以往更轻松、更迅速、更廉价地大规模构建数据分析能力，而且效果远远好于以往。大数据决策是在全局层面优化每一项局部决策，包括某一或所有工厂以及整个企业。”

生产车间的科技民主化

Natan Linder，Tulip Interfaces 公司首席执行官兼联合创始人



“最近几年，一些全球大厂都在生产车间实行技术民主化，大幅提高了车间的效率和产量。制造 APP 应用平台已经成为制造企业数字化转型的重要工具。它们可以让制造工程师在无需写代码的情况下，轻松开发车间应用。有了这些应用，作为真正理解生产问题利益相关者的工程师们，便能切实解决企业的生产问题。”

“有了这些平台，IT 部门不用再花时间精力为车间编写代码，可以集中精力为工程师赋能，使之能够开发自己的应用。如此一来，IT 的职能便成了引导组织自下而上地使用制造业应用平台。对车间一线人员来说，好处可谓立竿见影。制造应用

能加强一线人员的能力，还能指导他们开展工作。不仅提高了生产效率和产量，还弥补了企业的技能短板。一线人员可以通过数据分析获得详细的工作指导和实时的性能表现反馈。如此一来，新老员工可通过 APP 进行协作，根据各自的技能水平获得引导。”

图 10：应用构建平台让生产车间层面能够实现技术民主化



Melonee Wise, Fetch Robotics 公司首席执行官



“第四次工业革命技术的关键在于，这些技术能让车间员工找到能改进的地方，并采取具体措施。某大型制造商采用了自主移动机器人 (AMR)，负责材料的运输，将零部件从备料站运送到装配区。其他工区的工作人员发现他们同事等待零件的时间变短了，有些机器人会在两项任务的间隙进入等待状态。于是他们找到车间主管，要求在他们的工区也部署机器人，为其提供支持。”

“AMR 系统运用云技术部署机器人，车间主任只需要在简单的界面中点击几下，即可在备料区和其他工区之间设置和安排额外的工作流程，既不用编写任何程序，也不必求助于 IT 部门。通过独立与协作的工作，厂里的员工提高了工作效率以及机器人的利用率，实现了共赢。”

敏捷工作模式

Fast Radius 公司 (美国芝加哥)



创造敏捷的工作环境需要灵活而聪明的团队、流程以及技术，并在学习中不断优化。Fast Radius 是一家位于美国芝加哥的增材制造公司，他们懂得敏捷性对于制造业未来发展的重要性，对增材制造行业尤其如此。该行业的环境发展迅速，颠覆性技术层出不穷，因而要求团队具备更强的适应力。

为了达到该目标，Fast Radius 启动了一套敏捷工作模式，让其团队可以不断迭代，提高效率。敏捷工作模式有两大驱动力：1) 灵活而扁平的组织结构；2) 全组织可用的大规模学习平台。有这两大驱动力做支撑，Fast Radius 可以通过以下方式适应灵活的工作环境：

赋能团队网络:Fast Radius 选择了高度扁平化的组织结构。在客户服务方面,他们组建了灵活的客服团队,可快速按需改变。在运营方面,则采用了非典型的制造企业团队结构。所有的运营都围绕价值流而展开,而不是各个职能各自为政。每条价值流的领导在设计质量、工程、设备使用和生产上拥有端到端的决策权。这些跨职能团队会快速部署新技术,完成优化,从开发最小可行性产品开始,然后逐步迭代,增加功能,并不断吸收各种研究发现和一线人员提供的反馈。

基于软件的快速决策和学习周期:促成 Fast Radius 拥有敏捷能力的关键是其专有的技术平台。敏捷模式引发了软件开发业的革命,而该平台使整个团队把这场革命中的各种原则引入了实体产品开发领域。在该案例中,软件会从 Fast Radius 虚拟仓库里存储和制造的每个零件设计中收集数据和研究发现。Fast Radius 会对源自这项技术的数据进行集中化和工业化处理,然后分享给各个团队,帮助其成员根据性能表现实现快速迭代和规模化。由此,他们最终将产品开发周期最多缩短了 90%。

Lou Rassey, Fast Radius 公司首席执行官



“从第一天开始,我们就明白敏捷工作模式对我们的重要性。今天的制造跟设计和供应链之间的关系愈发紧密。具体到增材制造领域,企业还需要理解和顺应持续不断的颠覆潮流,才能快速制定可行的解决方案。”

“所以我们把敏捷技术与敏捷团队结构结合了起来。原来需要几个月,现在我们只需要几周,就能为客户开发几百款设计和原型,大大加快了新产品的上市速度。我们现在制造和交付关键零件的速度也更快。原来走完一个完整的生产周期需要 45 天,现在只要 45 小时。这一切之所以能实现,是因为我们把敏捷工作模式整合到了企业中各个方面,包括我们的软件技术、工厂设计,以及团队组织结构中。”

博世汽车 (中国无锡)



RBCD 希望能以最快的速度走过概念验证 (Proof-of-concept, 简称 PoC) 阶段。这样一来,公司就能集中资源,保证每年完成约 10 个 PoC。他们还为此成立了一个生产创新中心 (Production Innovation Center, 简称 PIC), 设计了一个专门用于培训和开发的小型装配线。虽然这条装备线不会真正用于生产,但却采用了全套的传感器、无线射频识别 (RFID) 追踪技术以及企业资源计划 (ERP) 系统。因此,该工厂为众多的 PoC 提供了一个独立 (因此非常安全) 的测试环境。在敏捷的本土软件供应商的支持下,博世运用这些核心功能,只用不到 3 个月的时间,便完成了超过 80% 的 PoC。

最小化增加用例产生的增量成本

微软工厂 (中国苏州)



在微软,硬件产品是一块大业务。2017 财年,微软两款著名产品的业务规模超过了 80 亿美元。如此大的业务规模,对制造的监控和优化,以及信息共享就变得尤为重要。

为了确保产品和客户服务的竞争力,微软通过三大举措调整了江苏苏州工厂的生产流程:

- 设备联网
- 大数据预测
- 通过机器学习打造认知制造生产线

微软认为,设备联网最大的好处之一,是能用最少的资源,设置新的用例。以前,项目经理和开发团队需要编写代码和后台查询请求,才能将新的数据源引入流程,需要几天、几周,甚至几个月。现在只需要一个人花大约 15 分钟就能整合新的数据源。

有了联网设备，且短时间内能增加新用例，微软便根据各个组件的生产流程数据，加入了能够预测产量提升的机器学习算法。这些预测模式重点关注产品缺陷、材料浪费等因素。每完成一个用例，产量将大幅提升 30%。

微软称，新的解决方案为制造流程带来了诸多好处：简单的初始设置、可定制性、快速从数据中获取洞见、省时、降本、增效等等。微软的工厂和供应商实现了前所未有的整合，员工也时时惊讶，自己能非常快速地获取重要趋势，并找到工厂存在的问题。有了这笔名义投资，微软预计这些好处会随着其云解决方案的发展而不断增加。

Darren Coil，微软商业战略总监



“此次数字化转型是 30 年来规模最大的制造技术变革，也是最‘一发不可收拾’的变革之一。机器的物理连接只要几周便能完成。等数据可用，我们利用最低成本的机器学习，用几小时便发现了即将报废的库存。其实相关数据一直都在，但直到物联网凸显出这些数据之后，我们才看到。通过使用数据来改进生产线和识别被隔离的产品，厂里改变了无数件产品被废弃的命运。最终，一个 5 人团队在 12 个月内节约了超过 500 万美元。财务说，我们把库存成本降低了 2 亿美元。”

Melonee Wise，Fetch Robotics 公司首席执行官



“行业领袖都在寻找新的自动化技术，希望用最少的投资支持数字化制造的新用例。于是行业出现了新一代的按需自动化技术，把云计算为 IT 行业带来的速度、敏捷度和增量成本优势也带到了车间里。”

图 11：按需自动化具备 6 项基本原则



“举个例子，某设施出现材料堵塞和停顿问题，不仅降低了产出，还增加了劳动力成本，于是公司引进了一套机器人材料处理系统。因为这套系统采用了协作的云端自动化模式，所以不需要对设施或流程进行调整，也不需要安装或整合 IT 软硬件。厂里花了几天时间来部署和运营，最后整个试点项目不到两周就完成了。快速的成功和高投资回报率让厂子全面铺开初期用例，在规模化的过程中又增加了一个用例。”

新商业模式

欧洲某消费电子产品制造商（匿名）



新的商业模式创新往往都是对原有商业模式的自发性颠覆，企业领导者往往也都能预料到改变时会出现动荡。所以在新商业模式有显著规模之前，该公司领导层要求保密完全可以理解。该欧洲消费电子产品制造商成功对其商业模式进行了创新，

直到本白皮书发布时仍选择匿名。我们之所以将该匿名公司的案例放进来，是因为它的成功经验可在该背景下提供有价值的洞见和发现。

在当今的数字时代，客户习惯了厂商 24 小时在线，他们希望自己的订购体验简单、个性化，还希望有免费配送，退货方便。为了保持竞争力，传统制造商必须在设计阶段就与客户互动，把生产周期从几周缩短到几小时，还要能以批产的价格完成单件订单。与此同时，还要提供流畅的接口，辅以便捷的配送和退货服务。没有数字化技术，这些要求很难，甚至根本不可能实现。

面对这些要求，该公司发现自己面临着传统产品和供应链上的挑战。用注塑成型工艺生产部件需要公司对工装进行大量投资，而且新工装的生产周期也很长。最终由于交付周期过长，大量资本压在了库存上，导致库存要么过剩，要么短缺。它的产品设计系统在优化时是以传统制造工艺为导向的，限制了设计的自由度，结果产生了很多需要组装的零件。所有这些因素结合在一起，导致新产品上市速度过慢。

为了攻克这些挑战，为消费者提供新的价值主张，该公司创办了一家新公司，生产可完全客制化的产品，用低于其过往商品的单价完成单件订单。它构建了一个增材制造生产网络，以期借助更多的数字化制造用例，直接在物流中心进行生产活动。新公司拥有一体化的数字化制造能力，确保制造业务的快速规模化；并利用了机器学习，来实现质量控制的和谐统一与自动化。它还提供一套网页程序以供客户自由配置和定义完全个性化的产品，体验无限的设计可能性，还能在接近终端客户的地方进行生产，从而降低配送成本，缩短交付周期。

该项目成果颇丰，它完全颠覆了现有的价值链，成立了一家新的企业，且在一年后斩获了数百万欧元的销售额。它还在现有的运营条件下为公司带来了诸多优化：

- 新产品推出时间：减少 90%
- 库存占用资本：减少 75%
- 每件产品的人工组装时间：减少 80%
- 对设计专用工具的投资：减少 100%
- 二氧化碳排放：减少 50%

这家匿名企业为我们提供了示范性洞见，告诉了我们如何根据市场变化创造新的商业模式。最近几年涌现出很多颠覆性数字化技术，它们已经并会持续对供应链、产品设计、制造流程以及市场营销产生影响。要成功捕捉随变化而来的价值，企业（尤其是大企业）要走的路，必定是一条充满机遇与荆棘的路。从该制造商上，我们可获得的具体洞见有：

- 预期管理在公司每个层面都很重要。与最终目标契合，且有意义的短期结果，比过高的目标更可取。目标过高往往只会带来失望。
- 经验表明，在初期成立一个与公司其他部门分离的独立团队有颇多好处。该独立团队应可随时获取公司资源，助其制胜（例如品牌、投资资金、人才、销售渠道）。
- 面对颠覆力量，企业文化需要随之变革才能取得成功，所以只有高管层由衷地支持变革，才能解决所有的潜在冲突，确保在成熟前能够获得必要的资源。

2. 扩展推动因素

第四次工业革命的战略和商业案例

宝马集团



宝马的数字化制造战略基于三大支柱：1) 重视效果；2) 摆正思维；3) 易于获取。宝马所有已部署的数字化用例都必须质量、成本和生产率等方面不断优化改进其生产流程，技术的易于获取与对协作文化的恪守，让宝马受益匪浅。

效果

宝马定义的每一个执行实践都有自己清晰的战略路径，这些实践的集群决定了如下框架：智能数据分析、创新自动化和辅助系统、智能物流和增材制造。

宝马集团的 IT 架构从最高的集团层面贯穿到了到一线的车间，其物联网平台为所有数字化应用提供了有力支柱。将各种设施和传感器接入云端本身不只是一个目标：每个新的用例实施后，其带来的投资回报都可以再为本身的基础设施提供资金支持。该公司的物联网基础设施有一重大优势，即让很多用例可“即插即用”，安装过程几乎可以忽略不计。员工可以登陆一个数字化工具箱，里面包含他们能使用的全部资源，供他们适时调用。可以说，这套系统的最大效果就是速度。

思维

宝马集团在全世界 14 个国家 / 地区的 30 个地点拥有生产基地。公司所有汽车工厂都使用同一套生产系统。因此对宝马而言，最有效的创新是能在所有工厂应用的创新。然而，很多创新却只应用在单个工厂，只解决一地的特有难题。因此，企业需要推广跨地点、跨大陆的协作文化。生产网络应在集团统一进行协调，让每个地点都为网络做贡献，某地工厂的解决方案取得效果，就应推广到所有地点。如此一来，有价值、有效果的创新就可以迅速普及。宝马给这种思想起了个名字：“分享即关怀” (sharing is caring)。

易于获取

数字化技术若能易于获取，它就能在生产中“大展拳脚”。软件开发的底层技术有时极其复杂。但如果我们看人工智能图片识别、传感器数据分析或自动化交通系统，它们都有一个共同要求：不仅数据要易于获取，用户界面的设计也必须遵循极简原则。这个标准不满足，解决方案就是孤立的，培训成本也会非常高昂，操作也可能十分繁复。

而如果使用自助解决方案，用少量的精力就能直接在工厂里形成控制逻辑，展开数据分析。宝马的生产系统就采用了开放的系统和使用界面。

所有联网的设施或设备始终在同一套整体系统中，以尽可能低的成本和投入发挥作用。说到底，数字化解决方案必须给这个过程带来利益，且不应产生额外的成本或额外的投入。

Christian Patron，宝马集团生产系统创新和数字化负责人；Marcel Eigner，宝马集团战略数字化和智能数据分析生产系统负责人



Christian Patron 说：“并非所有在技术上可行的东西都有意义：技术解决方案为员工提供的支持越有效，腾出的人手就越多，员工也就越能高效地发挥自己的强项。身处第四次工业革命，企业的主要任务之一就是识别有卓越成效的应用，并将这些应用标准化，然后在套国际化生产系统中快速铺开。只有身处该流程中的人，才最了解一套解决方案的效果。”

“想要全面铺开扩展项目，就需要基本的推动因素。这也是为什么宝马集团把战略重点放在了综合物联网平台和员工培训上。这让我们把本地流程的专业知识与集团层面的推广战略结合了起来。未来，人工智能解决方案让我们可以更高效地为人们

提供支持。我们的深度学习模型汇聚各专家的知识，几秒钟就能传遍全球。无论如何，员工的创造力总会不断提升，所以员工永远都是价值创造的核心。”

Marcel Eigner 认同 Patron 的观点，他也强调了这种综合方案：“具体到智能数据分析，我们会追求明确的战略，让参与运营的人尽可能获取数据。其中，对专业部门全面开放数据池，在自助解决方案中提供数据分析工具，以及亲身实践数据可视化，这些都是重点事项。只有当我们获得的洞见可以付诸实践，分析才能发挥效果。”

用于扩展的物联网基础设施

惠普公司



惠普的客户 Texmark Chemicals 在美国德州加利纳帕克经营一家石油炼厂。该厂是全世界最大的 DCPD（二环戊二烯）生产商之一。此外，它还是一家收费制造商，为签约客户生产专用化学品。

Texmark 是化工产品供应链上的重要一环，由于经常要用到受严格监管的危险品，所以安全是第一要务。而工业物联网对 Texmark 而言，是实现员工安全、生产和资产管理系统的核心所在。这要求 Texmark 将传感装置与先进分析软件结合起来，生成洞见，实现环境自动化，降低人为错误带来的风险。Texmark 在物联网领域的目标之一，就是把计划维护成本降低 50%。

而物联网可以通过很多方式让 Texmark 的生产流从中获益。但专业制造需要的不只是一套“万能”的解决方案。物联网需要强大的联网性，以此通过各种物联网设备收集数据。但这种联网性能必须具备成本效益，而通过有线的方式将整个工厂接入网络的成本又奇高。另外，Texmark 工厂安装所有技术，都必须严控，并达到公司的安全运营标准：在 Texmark 周边运行的设备也绝不能成为火源。Texmark 面临的另一大挑战，是解决数据的延迟问题。传输数据需要时间，而物联网的传输时间通常以秒计算。因此，Texmark 需要一套无需传输设备数据的物联网架构。

为了应对这些挑战，实现物联网架构带来的好处，Texmark 决定多期开发，部署一套端到端物联网解决方案。

一期和二期项目通过实现“边缘到核心”（edge-to-core）的联网，奠定了数字化基础。部署无线解决方案的成本大约是有线网络的 50%。为了进行边缘分析，Texmark 部署了一套工业化解决方案，在边缘提供企业级 IT 能力。另外，Texmark 对其工厂控制室也进行了升级，实现了“边缘到核心”的无缝连接，也将它的运营技术与 IT 整合到了同一系统中。

三期项目在这些技术方案构建的基础上（正在进行中）继续发展，为 Texmark 的用例提供支持，这些用例包括：预测性分析、高级视频分析、安全和安保、互联员工以及全生命周期资产管理。

据工厂经理 Linda Salinas 介绍，这套物联网架构对于化工行业发展第四次工业革命举足轻重。“我们正在建造一个未来精炼厂，其物联网架构不仅可以梳理数据，还能揭示整个工厂的互联状况。它就像一个有生命、会呼吸的工厂，它知道应该如何运营，碰到问题它都会自动标记，以便适时干预。”

Chen Linchevski, Precognize 公司首席执行官兼联合创始人



Chen Linchevski 是 Precognize 公司的联合创始人兼首席执行官。这家以色列软件公司专门为加工工业公司提供预测性分析服务。Linchevski 曾说，在流程行业的工厂里搭建物联网（通过成千上万的传感器收集数据）的经验教训，对任何想要部署物联网的行业都有参考和借鉴意义。基于他在分析性预测监控软件领域的经验，Linchevski 分享了为扩展规模而搭建物联网架构的三个重要建议：

数据可获得性。在选择用于扩展物联网的架构时，数据可获得性是必不可少的考察指标。“我们需要的，是一套让所有人都能获取数据以供分析之用的架构。” Linchevski 说。打破了数据的流通壁垒，企业便可最大程度地实现这种“民主化”。例如，有的设备供应商向制造商高价出售数据获取的渠道，制造商需要支付大笔费用才能通过连接器获取各台设备收集的数据。Linchevski 认为，这表明了“数字化时代制造商的一种呼吁，它们希望在购买设备时，数据也能为其所用，即使这意味着要在选择设备和传感器提供商时将此作为一项选用标准。”

快速试错。物联网架构应该支持快速试错。Linchevski 认为，数字化项目的实施速度通常很快，使之区别于传统行业周期较长的项目。他还解释道，在加工行业，实施数字化通常两周就能完成，但还要再花 3 个月进行试点。“要加快进度，就需要获取所有数据，这一点上面已经说过，还要有 API 或者其他数据连接渠道。这个架构应该明确网络安全要求，确保环境允许适度的安全要求，因为一旦安全要求十分严格，项目进度就会被放慢。制造商要能使用沙盒、只读数据模式以及独立应用（仅用于试点阶段）。”

敏捷架构设计。架构设计应该保持敏捷，不仅要考虑到工厂间的差异，还要能按照明确的需求进行扩展和改造。第一个应用就应明确体现出价值，然后在接下来的架构建设中逐步加以确认。“如果要从头开始设计架构的每个部分，不仅耗钱而且耗时。” Linchevski 建议道，“一开始就要明确所有原则，达成一致。然后开始试点应用，以便明确需求和扩充架构。”

获取新技能以增强能力

塔塔钢铁（荷兰艾默伊登）



塔塔钢铁开始推广先进分析法 (Advanced analytics, 简称 AA) 时，很快就明白没有什么捷径，为员工培养相应的技能才是成功的关键。他们没有推行数量少、规模大的用例 (EBITDA 影响超过 2000 万欧元)，而是重点发展许多小项目。这个重要决策塑造了整个项目的特征和结构。项目数量多，对专业员工的需求也就水涨船高。市场上缺乏具备相应能力的应聘者，所以外部招聘不合适，且由于这项活动会持续推进，所以外包也不合适。因此塔塔必须大量培训员工。内部的先进分析学院 (Advanced Analytics Academy) 应运而生，目前已经培训了 200 多人。

这个学院适用面广泛，针对许多职位设计了专门的课程，包括数据科学家和数据工程师。数据科学家有了这些技能后，就可以利用指定的数据集，为具体的目标功能创建优化模型，要完成这项任务，科学家必须对统计学有深刻理解。数据工程师则必须将原始数据以数据科学家能够理解的方式呈现出来，供其反复使用。这就需要对工程师进行数据准备和数据清理方面的技能培训。

除了这些 AA 专家，企业还有两大群体需要深刻理解 AA：数字化“译员”和企业高管层。“译员”要跟 AA 团队交流合适的商业问题，确保 AA 团队的成果符合商用过程中面临的局限。他们还扮演了一项重要角色，就是识别 AA 项目初期经常发现的伪相关性（甚至错误的相关性）。此项专门的培训模块对塔塔钢铁的管理层也很重要。经过培训，他们会对 AA 有基本的理解，让他们能以自己偏好的风格来指导 AA 项目。由于 AA 项目初期通常会出现很大的不确定性，与传统的项目管理方法不一样，需要管理者进行相应的问询、审核与甚至平衡和取舍。

多数培训都是在传统的集体课程教育的方式下进行，因为学生与老师之间的面对面交流是教育的关键环节。课程材料没有采用通用案例，而是采用了塔塔钢铁的真实案例。经验表明，在传授基本信息或统计方法时，根据真实背景设计案例可以大幅提高教学效果。除了课堂教学，塔塔还有上手实践培训。例如，该学院的“黑客马拉松”就是数据科学家培训的一部分。任务将持续 36 小时，新科学家团队必须在真实的塔塔处境中，开发一个预制数据集模型。

Hans Fischer, 塔塔钢铁欧洲首席执行官



“先进分析法是我们工业 4.0 战略的关键一步。我们选择对内部专家进行培训，使之掌握数据科学技能，而不是招募专业的数据科学家。我们的 AA 学院很有帮助。但仅仅培训数据科学家还不够，我们还需要教育管理层，确保他们有能力识别未来的 AA 机会，领导他们所在领域的项目。我最近也参加了管理层的 AA 培训。这次学习体验非常好，让我更加深入地洞察了 AA 能带来的机会。我原本就对行业的 AA 应用充满信心，现在更是有了亲身体会。”

Daiane Piva, 塔塔钢铁能源效率改进顾问



“我在塔塔钢铁欧洲公司担任能源顾问后不久，就参加了 AA 训练营，之后又参与了一个 AA 项目。对我来说，理论与实践的结合是成功的关键。我相信，除了算法，AA 真正强大的地方在于它有强大的结构，但同时又非常灵活。我们能在快速试错中迅速学习。我们在组织项目时，有非常具体的中间步骤，易于追踪，这样能让我们看清什么才是最终产品。让我很意外的是，你越关注数据，获得的洞见也越多。”

员工参与

施耐德电气（法国勒沃德勒伊）



在数字化转型中，创新需要开放，但也要组织得当，才能确保创新的全面铺开。施耐德电气就在运行一个“智能工厂项目”，用一套组织方法实施、测试和推广创新理念。项目重点关注员工参与，确保各种变革和新技术能够获得员工支持，从而快速推广。

例如，在该公司位于法国勒沃德勒伊的工厂里，项目为整个工厂开发了一套 3D VR 模型，用于测试和验证创新理念。之后让一线员工也参与进来，让他们清晰看到日常工作发生的变化。

要促进协作，企业必须投入时间来评估和挖掘新技术，回答问题，展开讨论。施耐德有一套联网的社交网络，让员工分享最佳方法，发表和回答问题，为共享的社区贡献知识与力量。

公司发现，工厂管理实践的转变是最主要的变化之一。工厂经理的职责历来都是检查执行状况，纠正问题，激励员工实现工厂的 KPI。但现在一线员工可以使用更加复杂的数据，并直接从机器和流程中获得信息，并制定决策，所以经理的工作在逐渐改变。现在经理可以更多关注如何对标并进行分析，以此推动工厂的优化改进。随着越来越多的智能工厂实现互联，每一位工厂经理都可以借此进行对标，把自己工厂的绩效与其他工厂进行对比。

Lilian Aube, 施耐德电气勒沃德勒伊工厂工会代表



“数字化转型需要公司各个级别的员工共同努力，这样改变才能持续推进。在勒沃德勒伊，我们看到工作方式在快速变化，工作环境中也出现了很多新工具，包括自动导引车 (AGV)、平板电脑、协作机器人、预测软件以及对大量数据的运用。”

“我们的企业现在需要新的技能，得益于培训和工作方式的转变，员工对此也很积极。我们发现重复性劳动在不断减少，有趣的任务在不断增加，安全性极高的自动导引车也变得更加安全，我们可以在移动终端远程实时查看生产信息。企业在部署新技术的早期，如果能让员工参与，对他们而言很有价值，能让他们感觉自己参与了转型过程。我们预计，工厂员工还会因为培训获得更多内部晋升机会，因为他们对组织价值增加了。”

“这些小的进步表明，数字化转型可以在工厂层面降低风险，提高责任，还能改变工作方式。在公司层面，有了新的生产方式，效率和效果也都会得到提升。”

Sophie Grugier，施耐德电气全球供应链运营高级副总裁



“在供应链中采用第四次工业革命技术，为我们提供了人机协作的新方式。生产和仓储流程的数字化能提升效率和可持续性。人的专业知识仍然非常重要，因为技术也需要有人解读和引导，但人也要能与人工智能合作，在设备机器和流程数据中运用 AI，从而生成深度洞见，解决复杂问题。人与技术的共存正是数字化转型给社会带来的真正价值。”

“数字化能否被成功而广泛地采用，关键之一是企业管理和传达数字化转型所带来的变化。在施耐德电气，我们从一开始就让员工参与数字化转型，确保新技术能在日常工作中给予他们全面支持。”

“我们让所有一线员工都用平板电脑来检查设备状况，而以前只能通过其他人机界面来完成这项工作。在自身的数字化转型中，我们发现，相互学习和跨厂协作对于实现适当的变革管理非常有效。这加快了数字化的普及，还提高了变革效率，而且充分证明了智能绿色制造完全有可能，也履行了我们对可持续生产的全球承诺。”

贡献者

世界经济论坛感谢下列贡献者，尤其是报告中“灯塔工厂”的代表。

Sergey Chebotarev, 新利佩茨克钢铁公司能源副总裁
Loic Regnier, 施耐德电气战略思维负责人
Shwetha Shetty, SAP 公司战略高级总监
Majid Gwaiz, 沙特阿美先进流程解决方案总监
Christian Haecker, 欧瑞康增材制造工业化负责人
Steffen Lang, 诺华制药全球技术运营负责人
Dr. Ravi Kumar, 印孚瑟斯先进工程事业群副总裁兼负责人
Bart Talloen, 强生供应链战略和部署副总裁
Jeffrey Wilcox, 洛克希德 - 马丁数字化转型副总裁
Renee McKaskle, 日立高级副总裁兼首席信息官
Aly Wahdan, 宝洁工厂经理
Ric Fulop, Desktop Metal 首席执行官兼创始人
Andreas Kunze, KONUX 首席执行官兼联合创始人
Carl Vause, Soft Robotics 首席执行官
Luca Cremona, Rold 业务拓展经理
Melonee Wise, Fetch Robotics 首席执行官
Natan Linder, Tulip Interfaces 首席执行官
Andreas Braun, 博世汽车部门经理
Lou Rassey, Fast Radius 首席执行官
Alan Amling, UPS 公司战略副总裁
Menno Van der Winden, 塔塔钢铁先进分析总经理
John O 'Sullivan, 拜耳药品供应全球 IT BP 负责人
Christian Patron, 宝马集团创新、数字化、数据和分析负责人
Marcel Eigner, 宝马集团战略数字化和智能数据分析生产系统负责人
Neal Meldrum, 微软商业战略负责人
Matthias Roese, 惠普制造、汽车和物联网首席技术专家
Jun Ni, 密歇根大学制造研究中心主任
Krystyn Van Vliet, 麻省理工学院教授
Jeremy Edwards, 剑桥大学教授

项目团队

世界经济论坛

Helena Leurent, 未来生产系统项目负责人、执行委员会成员
Francisco Betti, 未来生产负责人
Jayant Narayan, 未来生产项目负责人、全球领导委员会成员

麦肯锡公司

Enno de Boer, 全球董事合伙人、世界经济论坛未来生产项目技术和创新领导合伙人
Adrian Widmer, 项目经理, 挂职于世界经济论坛
Diego Hernandez Diaz, 项目经理, 挂职于世界经济论坛
Katy George, 全球资深董事合伙人
Varun Marya, 全球资深董事合伙人
Christoph Schmitz, 全球资深董事合伙人
Richard Kelly, 全球董事合伙人
Mehdi Miremadi, 全球董事合伙人
Dinu Niculescu, 全球董事合伙人
Forest Hou, 资深专家

项目团队感谢 Paul Cumbo 为白皮书提供的支持。

尾注

1. Aharon, Dan; Bisson, Peter; Bughin, Jacques; Chui, Michael; Dobbs, Richard; Manyika, James; Woetzel, Jonathan。麦肯锡全球研究院。《物联网：找到热潮背后的价值》(The Internet of Things: Mapping the Value Behind the Hype)。2015年6月。https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx (访问日期：2018年11月9日)。
2. <http://wdi.worldbank.org/table/4.2#> (访问日期：2018年11月9日)。
3. <https://www.strategy-business.com/feature/00370?gko=e606a> (访问日期：2018年11月9日)。
4. Bughin, Jacques; Chui, Michael; Joshi, Raoul; Manyika, James; Seong, Jeongmin。麦肯锡全球研究院。《AI前线：塑造AI对世界经济的影响》(Notes From the AI Frontier:Modeling the Impact of AI on the World Economy)。讨论稿，2018年9月。<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Artificial%20Intelligence/Notes%20from%20the%20frontier%20Modeling%20the%20impact%20of%20AI%20on%20the%20world%20economy/MGI-Notes-from-the-AI-frontier-Modeling-the-impact-of-AI-on-the-world-economy-September-2018.ashx> (访问日期：2018年11月7日)。
5. 同上。
6. Batra, Parul; Bughin, Jacques; Chui, Michael; Ko, Ryan; Lund, Susan; Manyika, James; Sanghvi, Saurabh; Woetzel, Jonathan。麦肯锡全球研究院。《工作岗位的流失与获取：自动化时代的劳动力过渡》(Jobs Lost, Jobs Gained:Workforce Transitions in a Time of Automation)。2017年12月。<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/future%20of%20organizations/what%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/mgi-jobs-lost-jobs-gained-report-december-6-2017.ashx> (访问日期：2018年11月7日)。
7. 同上。
8. 经济合作与发展组织(OECD)小企业部,《工作岗位的创造与增长：现状、挑战与最佳实践》(Job Creation and Growth:Facts, Obstacles and Best Practices), 巴黎。<https://www.oecd.org/cfe/smes/2090740.pdf> (访问日期：2018年11月9日)。
9. Bolz, Leah; Freund, Heike; Kasah, Tarek; Koerber, Bodo。麦肯锡数字化咨询业务。《利用工业软件推动数字化转型》(Leveraging Industrial Software Stack Advancement for Digital Transformation), 2018年8月。<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/iiot%20platforms%20the%20technology%20stack%20as%20a%20value%20driver%20in%20industrial%20equipment%20and%20machinery/final-report-leveraging-industrial-software-stack-advancement-for-digital-transformation.ashx> (访问日期:2018年11月9日)。
10. “灯塔工厂”回复中的数据来自世界经济论坛与麦肯锡公司共同完成的调查与问卷。
11. Schwab, Klaus。“迎面全球化4.0的挑战”(Grappling With Globalization 4.0)。Project Syndicate。2018年11月5日。<https://www.project-syndicate.org/commentary/globalization-4-0-by-klaus-schwab-2018-11> (访问日期：2018年11月13日)。
12. “政府间气候变化专门委员会(IPCC)全球变暖1.5°C政策制定者特别报告摘要获得各国政府批准”(Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C Approved by Governments)。政府间气候变化专门委员会新闻。2018年10月8日。https://www.ipcc.ch/pdf/session48/pr_181008_P48_spm_en.pdf (访问日期：2018年11月21日)。
13. “过往的地球生态超载日”(Past Earth Overshoot Days)。地球生态超载日, 全球足迹网络(Global Footprint Network) 2018年。<https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/> (访问日期：2018年11月21日)。
14. “欧洲国家工业4.0政策倡议的主要经验教训”(Key Lessons from National Industry 4.0 Policy Initiatives in Europe)。数字化转型监测(Digital Transformation Monitor)。欧洲委员会。2017年5月。https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Policy%20initiative%20comparison%20v1.pdf (访问日期：2018年11月13日)。
15. Bughin, Jacques; Manyika, James; Woetzel, Jonathan。麦肯锡全球研究院。《工作岗位的流失与获取：自动化时代的劳动力过渡》(Jobs Lost, Jobs Gained:Workforce Transitions in a Time of Automation)。2017年12月。<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/future%20of%20organizations/what%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/mgi-jobs-lost-jobs-gained-report-december-6-2017.ashx> (访问日期：2018年11月7日)。

16. Ellingrud, Kweilin。 “自动化的好处：新的工作岗位，提高生产力，改变工人角色” (The Upside of Automation:New Jobs, Increased Productivity and Changing Roles for Workers)。福布斯。2018年10月23日。<https://www.forbes.com/sites/kweilinellingrud/2018/10/23/the-upside-of-automation-new-jobs-increased-productivity-and-changing-roles-for-workers/#130325c57df0> (访问日期：2018年11月12日)。
17. “加强中小企业对全球和数字化经济的贡献” (Enhancing the Contributions of SMEs in a Global and Digitalized Economy)。经济合作与发展组织。经济合作与发展组织理事会部长级会议。巴黎，2017年6月7日-8日。<http://www.oecd.org/mcm/documents/C-MIN-2017-8-EN.pdf> (访问日期：2018年11月28日)。
18. “关于保护国家网络基础设施的总统发言” (Remarks by the President on Securing Our Nation’s Cyber Infrastructure)。白宫新闻秘书处。2009年5月29日。<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-securing-our-nations-cyber-infrastructure> (访问日期：2018年11月12日)。
19. Poppensieker, Thomas; Richter, Wolf; Riemenschnitter, Rolf; Scherf, Gundbert。 “数字化与风险：联网世界中的新型网络犯罪” (Digital and Risk:A New Posture for Cyberrisk in a Networked World)。麦肯锡公司。2018年3月。https://www.mckinsey.com/de/~/_/media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/publikationen/2018%20compendium/a%20new%20posture%20for%20cybersecurity%20in%20a%20networked%20world/kompendium_03_cyberrisk-2.ashx (访问日期：2018年11月12日)。
20. Perlroth, Nichole 和 Krauss, Clifford。 “沙特阿拉伯的网络攻击致命，专家恐有下次袭击” (A Cyberattack in Saudi Arabia Had a Deadly Goal.Experts Fear Another Try)。纽约时报。2018年3月15日。<https://www.nytimes.com/2018/03/15/technology/saudi-arabia-hacks-cyberattacks.html> (访问日期：2018年11月13日)。
21. “全球变暖 1.5°C” (Global Warming of 1.5°C)。政府间气候变化专门委员会。2018年10月8日。<http://www.ipcc.ch/report/sr15/> (访问日期：2018年11月12日)。



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界经济论坛是一家国际公私合作组织，致力于改善全球状况。

世界经济论坛与全球最重要的政治、商业等各界领袖共同制定全球、区域及行业性计划。

世界经济论坛
91-93 route de la Capite
CH-1223 克隆尼 / 日内瓦
瑞士

电话：+41 (0) 22 869 1212
传真：+41 (0) 22 786 2744

contact@weforum.org
www.weforum.org