

与麦肯锡公司合作撰写



全球灯塔网络： 重构运营模式，促进企业发展

白皮书

2021 年 3 月



目录

前言	3
执行摘要	4
1 把握数字化转型：全球灯塔网络扩容	5
1.1 灯塔网络欢迎不同行业的新成员	6
1.2 灯塔工厂正在部署多样化用例	9
1.3 灯塔工厂作为行业典范，其成就远不止生产效率的提升	13
2 全球局势动荡带来独特增长机遇	14
2.1 余震仍将持续	15
2.2 灯塔工厂照亮前程	15
3 灯塔工厂推动可持续增长	16
3.1 商业模式创新	18
3.2 释放产能	20
3.3 实现可持续增长	22
4 大规模扩展第四次工业革命创新	26
4.1 打造敏捷工作模式，推动规模化发展	28
4.2 大力培养和提升员工技能	32
5 行动呼吁：照亮更远的路	34
5.1 扩展灯塔之光	35
5.2 助力其他企业部署第四次工业革命技术	36
5.3 加入全球灯塔网络	36
贡献者	37

前言



Francisco Betti

“塑造先进制造与生产的未来”项目负责人，世界经济论坛



Enno de Boer

麦肯锡全球董事合伙人，常驻美国

全球市场动荡不安，供应链屡遭中断，此外，客户对数字化体验的呼声也日渐高涨。在上述因素的共同作用下，第四次工业革命的发展进程正在逐步提速。面对前方重重挑战，领先制造商开始调整自己的增长策略，为其他企业指明方向。过去10年，领先组织竞相降本增效，为第四次工业革命奠定了坚实的基础。然而，市场环境日趋复杂，客户对个性化体验的呼声也日渐高涨。如今，降本增效已然只是“入场筹码”，企业若想保持竞争力，不落后于第四次工业革命的浪潮，就必须在其他方面寻求增长途径。

在历史的发展进程中，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。没有灯塔的指引，船只将寸步难行，一个又一个新大陆的商业贸易与工业革命也将不复存在。2018年，世界经济论坛携手麦肯锡公司启动了全球灯塔网络项目。这些拥有卓越领导力的领先制造企业让行业未来充满希望。有一点是肯定的：面对全球市场的狂风暴雨，灯塔工厂势必更加引人注目。全球层面的一系列事件正在改变航行的本质，正因为此，灯塔工厂的任务也变得更为艰巨。唯有最强的光才能刺破浓厚的雾霭，照亮前路。

行业转型已经达到史无前例的高度、广度和深度；唯有愿意迎难而上，从危机中捕获机遇的企业，才能制胜未来。越来越多的制造企业用亲身实践证明，释放无限潜力、拓宽收入来源、夺取市场份额绝不是梦想。对劳动者而言，习得新技能不仅能够带来自身能力的提升，还能与前沿技术探索新的合作方式。消费者愈发追求快速交付的定制化产品，这一点是市场转型的主要驱动力。不少创新型企业正在朝着这一方向奋勇迈进。

上述企业构成了全球灯塔网络的中坚力量：他们大胆投资新创意，新方法和新模式，推动运营彻底踏上转型之旅。尽管市场充满波动与挑战，这些企业仍旧维持着强劲的发展势头，在持续盈利的同时坚定履行社会义务。他们深知，降本增效与可持续发展完全可以相辅相成。因此，他们在提高生产效率、扩大市场份额、坚持“以人为本”的同时，还不忘持续打造一个更加绿色的未来。

这些开创性企业既是引路的灯塔，又是行业领导者。依托第四次工业革命技术，他们正以空前的方式和规模推动增长，繁荣发展。他们用实践证明，增长不一定需要大量的资本投入（甚至不需要资本投入），这也从侧面反映：第四次工业革命投资只是“一场空”的说法，完全是谣言一场。依托数字化技术，他们执笔写下增长的新篇章。新冠疫情的暴发加速了数字化浪潮的推进步伐。这一点适用于身处数字化进程中的所有企业。无论出于何种原因，企业若是被动消极，一味等待，只会深陷危机。

当然，挑战往往与机遇并存。企业唯有调整自身策略，才能捕获机遇，在混乱的局势中实现增长。好在下文出现的灯塔工厂都已及时做出响应。他们不仅照亮了制造业的未来，也照亮了全行业的未来。在他们的领导下，灯塔工厂网络将不断扩容，进一步放大协作的力量。下文将为您讲述灯塔工厂的故事。欢迎您跟我们一起畅想灯塔网络的未来。他们的光芒是启示，也是邀请。我们欢迎更多新成员的加入：随着这一网络的不断壮大，全球灯塔工厂合力发出的光芒也将愈发耀眼，点亮更广阔的未来。

执行摘要

🔗 灯塔工厂正在依托第四次工业革命技术推动商业模式创新，并不断提升“以人为本”在企业价值中的重要性。

数字化创新已逐渐成为企业的必经之路。全球层面的动荡既是机遇又是挑战，面对供需端和客户端对数字化体验的紧迫需求，企业必须同时追求量变与质变。为了保持竞争力，企业须不断推出新颖的客户体验，拓展自身价值。事实上，成为业内数字化先驱的一大前提，就是找到能够推动业务目标的可扩展技术。

今年，全球灯塔网络新增15名成员。在使用第四次工业革命技术推动工厂、价值链和商业模式的转型方面，该网络中的制造企业均展现出了卓越的领导力。面对重重挑战，灯塔工厂为其他企业指明了方向。通过在运营中融入数字化技术，灯塔工厂不仅成功提升了生产力，还为可持续的盈利增长奠定了基础。通过大规模部署第四次工业革命技术，灯塔工厂正在借助新型商业模式拓宽收入渠道。深入了解客户需求后，企业便可借助柔性制造系统进行定制化生产，在加快产品上市速度的同时，提高资产和员工的生产效率。

很明显，灯塔工厂正在依托第四次工业革命技术推动商业模式创新，并不断提升“以人为本”在企业价值中的重要性。领先组织正通过深入了解客户需求部署新用例，例如，那些可以实现以前所未有的上市速度大规模定制产品的用例。市场竞争日趋激烈，上述举措能够帮助企业跻身市场前列，基于客户需求定制个性化产品。

传统观念认为，如此大规模的转型一定成本不菲，但事实恰好相反。第四次工业革命技术释放的潜能可以促进产量和销量的双重增长，且成本低廉。通过将先进的数字化工具与柔性生产系统相结合，灯塔工厂在无需大力扩建实体工厂和基础设施的前提下，实现了可观增长。简而言之，领先企业正在探索无需巨大资本投入的增长模式。

他们发现，增长未必要以牺牲环境为代价——换言之，降本增效与绿色发展并不矛盾。事实恰好相反：领先企业在提高生产力的同时，往往会提升资源使用效率，进而促进环境保护。也就是说，在削减成本的同时提升可持续发展能力，斩获双重效益。

大规模整合第四次工业革命创新是企业长期发展的核心要素。但领先企业成功实现大规模扩张的秘诀何在？不少公司都因工作模式过时或创新不足而深陷“试点困境”。灯塔工厂如何成功实现了大规模扩张？归根结底有两大秘诀：一是打造敏捷工作模式，二是提升员工能力技能。

首先，领先企业已经充分依托敏捷工作模式，这使得它们得以在生产网络和价值链上迅速扩展了第四次工业革命解决方案。通过提升运营过程的灵活性和适应性，灯塔工厂极大地鼓励了思维模式创新和动态工作方法。这样一来，他们便能密切追踪市场供需和客户期望的转变。

其次，灯塔工厂始终将员工培养列为重点工作培训、再培训和技能提升等举措能够帮助员工适应并融入第四次工业革命。通过坚持以人为本，灯塔工厂在推动第四次工业革命转型的过程中始终关注包容性增长，鼓励各级员工都参与到行业的重构中，共同打造一个富有创新力和创造力的未来。员工参与是成功实现规模化扩展的核心要素。规模化增长需要团队的力量，而团队则离不开每一位员工的贡献。

全球灯塔网络的成员数量正在稳步增长。这些制造企业宛如灯塔，引导着其他企业全价值链中部署第四次工业革命技术。灯塔工厂不仅在生产网络和端到端价值链上实现了敏捷工作模式的大规模部署，也在重点推动大范围的员工培训。在实现可持续发展的过程中，他们充分展现了自身的无限潜力。当然，其他企业若能勇于尝试，成为灯塔网络的一员将指日可待。

1

把握数字化转型： 全球灯塔网络扩容



全球灯塔网络成员正在利用第四次工业革命技术推动工厂、价值链和商业模式转型。

为了缩小领跑者与落后者之间的差距，并加快先进制造技术的普及，世界经济论坛于2018年携手麦肯锡启动了全球灯塔网络项目。该网络中的制造商在使用第四次工业革命技术推动工厂、价值链和商业模式的转型方面均展现出了卓越的领导力。他们也因此斩获了业绩、运营和环保方面的傲人回报。截至本白皮书发布之日，全球灯塔网络新添15名成员，总数升至69家。他们涵盖不同的行业类别（见图1）。

世界经济论坛在识别 灯塔工厂的过程中运用了综合全面的独立筛选流程。基于切实可见的成果和用例，全球多个行业的1000多家公司得到了评估。评估结果被提交至由世界领先的第四次工业革命专家组成的独立委员会，进行最终甄选。如今，全球灯塔网络的成员正在积极开展跨行业学习，生成和分享有关最佳用例、路线图和组织做法的洞见，以便在大规模部署先进技术的同时，向着以人为本、兼收并蓄、可持续发展的制造业转型。

1.1 灯塔网络欢迎不同行业的新成员

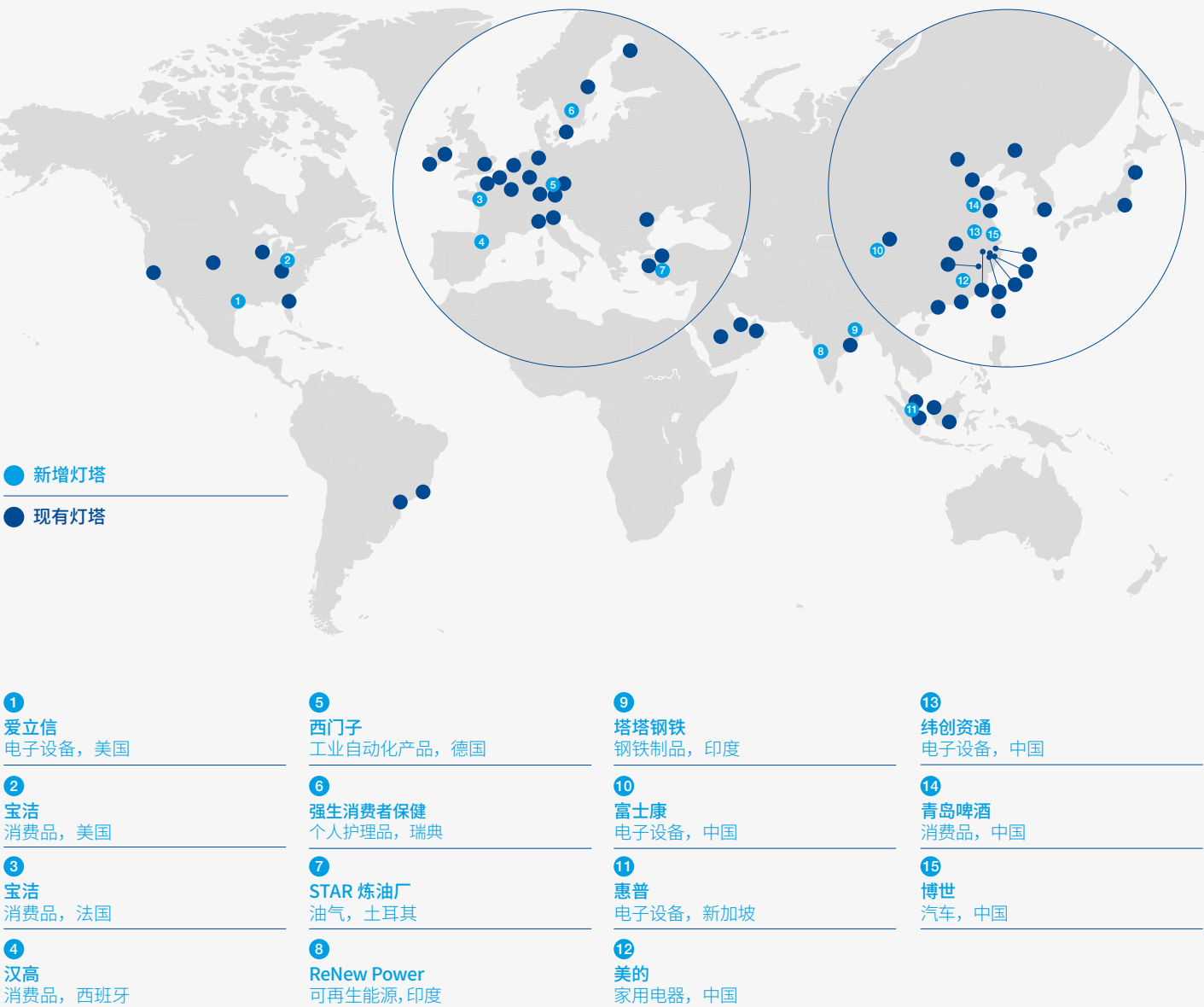
灯塔网络中的新老成员规模各异，所属行业也千差万别（见图2）。这一点清楚地表明，大规模推广第四次工业革命创新所需的决策、转变和战略不仅适用于传统制造业，也适用于其他行业。这些战略并不限于某一行业。无论企业是主攻定制消费品、先进电子、能源生产，还是生物制药，他们都在实现规模化发展和可持续增长的路上，遵循着同样的原则。此外，灯塔网络成员规模不一，有的员工上

万，有的员工数量甚至不足100人。这一点也从侧面证明，第四次工业革命技术至关重要，并且无论规模大小，所有制造企业都有实现该目标的潜力。



图 1 | 全球灯塔网络：69家灯塔工厂

全球灯塔网络新添 15 名成员，总数升至 69 家。



注释：欲知之前甄选灯塔工厂的详细信息，请参阅世界经济论坛白皮书《全球灯塔网络：四大持久转变助力制造业实现大规模重建》（Four Durable Shifts for a Great Reset in Manufacturing），2020年。

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

图2 全球灯塔网络：一个覆盖各行各业的多元化网络

消费品行业

阿里巴巴
服饰，中国

汉高
消费品，德国

汉高
消费品，西班牙

宝洁
消费品，捷克

宝洁
消费品，中国

宝洁
消费品，美国

宝洁
消费品，法国

青岛啤酒
消费品，中国

联合利华
消费品，中国

联合利华
消费品，阿联酋

流程工业

宝钢
钢铁制品，中国

DCP Midstream
油气，美国

MODEC
油气，巴西

Petkim
化学品，土耳其

Petrosea
采矿，印度尼西亚

浦项制铁
钢铁制品，韩国

ReNew Power
可再生能源，印度

沙特阿美
天然气处理，沙特阿拉伯

沙特阿美
油气，沙特阿拉伯

STAR炼油厂
油气，土耳其

塔塔钢铁（两家灯塔入选）
钢铁制品，印度

塔塔钢铁
钢铁制品，荷兰

先进工业

爱科
农业设备，德国

Arçelik
家用电器，罗马尼亚

宝马集团
汽车，德国

博世（两家灯塔入选）
汽车，中国

丹佛斯
工业设备，中国

爱立信
电子设备，美国

UPS参股的Fast Radius
增材制造，美国

福特奥特桑
汽车，土耳其

福田康明斯
汽车，中国

富士康
电子设备，中国

富士康工业互联网
电子设备，中国

雷诺集团
汽车，巴西

雷诺集团（两家灯塔入选）
汽车，法国

海尔
家用电器，中国

海尔
家用电器，中国

日立
工业设备，日本

惠普
电子设备，新加坡

英飞凌
半导体，新加坡

美光
半导体，新加坡

美光
半导体，中国台湾

美的（两家灯塔入选）
家用电器，中国

诺基亚
电子设备，芬兰

Phoenix Contact
工业自动化，德国

Rold
电子元件，意大利

上汽大通
汽车，中国

Sandvik Coromant
工业设备，瑞典

施耐德电气
电子元件，印度尼西亚

施耐德电气
电子元件，法国

施耐德电气
电子元件，美国

西门子
工业自动化产品，中国

西门子
工业自动化产品，德国

潍柴
工业机械，中国

纬创资通
电子设备，中国

医药和医疗产品

拜耳
制药部门，意大利

通用电气医疗
医疗设备，日本

葛兰素史克
制药，英国

强生
消费者健康产品
个人护理品，瑞典

强生DePuy Synthes
医疗设备，爱尔兰

强生DePuy Synthes
医疗设备，中国

强生杨森
制药，爱尔兰

强生视力健
医疗设备，美国

诺和诺德
制药，丹麦

Zymergen 生物科技公司
生物技术，美国

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

1.2 灯塔工厂正在部署多样化用例

灯塔工厂共计部署了110个用例。有的着眼于单个工厂（图3），有的侧重打通端到端价值链（见图4）。新增灯塔工厂也部署了多个用例（见图5）。

图3 灯塔工厂用例：单个工厂内部



数字装配与加工

- 工艺装备增材制造
- 应用于流程优化的高阶工业物联网
- 人工智能引导的机器性能优化
- 人工智能驱动的材料处理系统
- 人工智能驱动的过程控制
- 协作机器人和自动化
- 通过对线路PLC进行大数据分析来优化周期时间
- 数字工程
- 数字精益工具（例如，电子看板）
- 使用数字孪生进行柔性生产
- 数字化赋能的柔性制造
- 数字化赋能的模块化生产配置
- 数字化赋能的可变生产节拍时间
- 指示灯引导组装顺序
- 通过混合现实实现数字培训
- 用于制造关键零件的实时定位系统（RTLS）



数字设备维护

- 识别偏差根因的分析平台
- 通过传感器分析实现操作的成本优化
- 数字化赋能的管道泄漏预防和检测
- 机器报警集成，实现报警的优先级判定和根因分析来支持解决问题
- 基于历史和传感器数据的预见性维护数据整合
- 基于边缘传感器的实时综合成本优化
- 使用增强现实来进行远程支持
- 用无人驾驶车辆进行检测



数字化绩效管理

- 用于远程生产优化的高阶分析平台
- 用于良品率管理和根因分析的高阶分析平台
- 用于监控OEE的数字看板
- 专为车间设计的数字化招聘平台
- 数字工具来增强员工之间的互联
- 用于远程生产优化的数字孪生
- 数字化赋能的人机匹配
- 企业生产智能系统升级进行运营管理
- 将机器数据与企业软件连接的集成平台
- 实时资产性能监控和可视化
- 基于传感器的生产KPI报告



数字质量管理

- 人工智能赋能的安全管理
- 人工智能驱动的光学检测
- 自动在线光学检测来取代最终产品手动检测
- 数字质量稽核
- 数字化的工作指导和质量功能
- 数字化赋能的批量放行
- 数字化具有集成工作流的生产线操作的标准程序
- 现场质量问题整合，实现优先级判定和根因分析来支持解决问题
- 物联网赋能的制造质量管理
- 混合现实眼镜来指导操作员进行在线检查
- 通过预测分析实现质量提升
- 扫描以替换并提高高成本三坐标测量仪的性能



数字化可持续发展

- 可持续性的数字孪生
- 通过预测分析实现能源优化
- 工业物联网实时能源数据整合和报告看板
- 基于传感器的数据收集用来进行能源管理

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

图 4 灯塔工厂用例：打通端到端价值链



供应网络连接性

- 通过价格预测实现敏捷购买
- 通过端到端供应链网络整合需求
- 由支出智能和自动支出多维数据集支持的高阶分析型采购
- 人工智能加速工厂间的数字应用推广
- 人工智能驱动的合同决策审查
- 数字供应商绩效管理
- 数字化赋能的自动叫料系统
- 数字化赋能的谈判
- 与设备供应商进行联合数据分析来实现流程优化
- 基于数字化标签的表面扫描来实现零件可追溯性
- 对应该成本进行建模，以支持自产与购买决策
- 供应商和材料质量跟踪
- 通过电子看板实现供应商材料交付



端到端产品开发

- 利用高阶分析对从创意到上市全过程的绩效管理
- 大数据/人工智能赋能的产品设计和测试
- 众包与竞争来开发数字解决方案
- 通过产品全生命周期实施数字线程
- 使用机器人进行产品开发
- 快速外包样品设计
- 测试自动化
- 虚拟现实支持样品设计
- 3D打印用于快速样品设计
- 用于产品设计和测试的3D仿真/数字孪生



端到端规划

- 利用高级分析优化制造和分销布局
- 利用分析进行动态仓库资源规划和调度
- 闭环规划
- 数字化综合业务规划
- 动态网络优化
- 使用数字孪生进行动态生产计划安排
- 动态仿真用于仓储设计
- 端到端实时供应链可视平台
- 无人工介入主生产计划（分配给工厂）
- 需求预测
- 预见性库存补货
- 利用高级分析优化生产计划
- 实时库存管理（内部/外部）
- 实时S&OP



端到端交付

- 物流的资产利用和堆场管理
- 基于实时约束条件的先进运输计划
- 数字化拣货和运输
- 数字物流控制中心
- 数字跟踪和追溯
- 动态交货优化
- 无人工介入全自动订单管理
- 车队资产的预见性维护
- 机器人技术促进物流运营
- 运输“滴滴化”
- 3D打印



客户连接性

- 互联设备跟踪和衡量消费者行为
- 互联设备跟踪和衡量产品性能
- RFID支持的客户分析
- 用最终用户界面来配置和订购产品，同时跟踪配送
- 通过新的交付解决方案实现向各地的客户配送
- 客户系统的数字孪生
- 基于GPS的地图和客户定位
- 利用高级分析产生市场洞见
- 大规模定制和B2C在线订购
- 通过在线社区获取客户洞见
- 智能包装

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

图5 新加入的灯塔工厂：新一代用例

工厂	革新故事	五大用例	影响
博世 中国苏州	身为集团内的卓越制造典范，博世苏州工厂在制造和物流领域部署了数字化转型战略。这一举措使制造成本降低了15%，质量提升了10%。	数字化班组绩效管理	▲ 8% 直接生产效率
		数字化赋能的自动叫料系统	▼ 35% 生产库存
		基于最终用户界面来配置和订购产品	▼ 10% 物流成本
		智能化质量管理分配	▼ 6% 维护成本
		机器视觉驱动的生产周期和换线优化	▲ 10% 机器生产效率
爱立信 美国刘易斯维尔	面对日益增长的5G无线需求，爱立信在美国建立了一家5G赋能的数字原生工厂，确保与客户紧密连接。利用敏捷工作方式和强大的工业物联网架构，该团队在12个月内部署了25个用例，成功将员工人均产出提高了120%，交付时间缩短了75%，库存减少了50%。	5G协作机器人和自动化	▲ 120% 员工人均产出
		5G机器人技术促进物流运营	▼ 65% 手工材料处理
		基于5G传感器的数据收集来进行能源管理	▼ 97% 二氧化碳排放
		人工智能驱动的光学检测	▲ 5% 产量
		用于远程生产优化的数字孪生	▲ 8% 效率
富士康 中国成都	面对日益攀升的需求和短缺的高技能劳动力，富士康成都工厂采用了混合现实、人工智能和物联网技术，成功将劳动效率提高了200%，OEE提高了17%。	数字化赋能的人机匹配	▲ 200% 劳动生产效率
		人工智能驱动的光学检测	▼ 92% 手动检测
		基于历史和传感器数据的预见性维护数据整合	▲ 17% 设备综合效率
		物联网赋能的制造质量管理	▼ 99% 质量警报时间
		利用高级分析优化生产计划	▼ 25% 库存
汉高 西班牙蒙托内斯	为了进一步提高生产效率，推动公司实现可持续发展，汉高基于其数字化IT后台扩展了第四次工业革命技术，将整个蒙托内斯工厂的网络系统和物理系统连接起来，成功让成本降低了15%，产品上市速度加快了30%，碳足迹减少了10%。	通过预见性分析优化能源	▼ 10% 二氧化碳排放
		数字工具来增强员工之间的互联	▼ 20% 换线时间
		人工智能驱动的过程控制	▼ 20% 非计划停机
		机器人技术促进物流运营	▼ 16% 库存
		数字跟踪和追溯	▲ 30% 上市速度
惠普 新加坡	产品日趋复杂，劳动力却供不应求，这使惠普新加坡工厂在质量和成本方面挑战重重。此外，国家层面也在强调高价值制造业的重要性，因此，惠普踏上了第四次工业革命之旅，一改被动的劳动力密集型模式，成为人工智能驱动的高度数字化模式。从人为操作转向自动化后，制造成本降低了20%，生产效率和质量则提升了70%。	自动在线光学检测	▲ 70% 劳动效率
		协作机器人和自动化	▼ 10% 制造成本
		实时资产性能监控和可视化	▼ 10% 减少产量损失
		用于远程生产优化的高阶分析平台	▲ 70% 出厂质量
		增材制造（3D 打印）	▼ 40% 交付时间
强生消费者保健 瑞典赫尔辛堡	面对高度规范的医疗保健和快速发展的消费品市场，强生消费者健康公司借助数字孪生、机器人和高科技跟踪和追溯技术，成功提高了敏捷性并满足了客户需求，实现产量提升7%，上市速度加快25%，销货成本降低20%。他们还进一步加大投资，通过第四次工业革命技术引入绿色科技，成为强生历史上第一家碳中和工厂。	用于产品设计和测试的3D仿真/数字孪生	▲ 25% 上市速度
		协作机器人和自动化	▲ 16% 毛利润提高
		基于传感器的数据收集来进行能源管理	▼ 18% 二氧化碳排放
		数字跟踪和追溯	▼ 15% 销货成本
		数字化赋能的批量放行	▼ 90% 劳动力成本
美的 中国顺德	为了扩大电子商务布局和海外市场份额，美的对数字采购、柔性自动化、数字质量管理、智能物流和数字销售进行了大力投资，最终，产品成本降低了6%，订单交付时间缩短了56%，二氧化碳排放量减少了9.6%。	通过价格预测实现敏捷购买	▼ 5% 原材料成本
		机器人技术促进物流运营	▼ 53% 交付时间
		人工智能驱动的光学检测	▼ 15% 客户投诉
		自动化物流	▲ 40% 装货效率
		端到端实时供应链可视化平台	▼ 40% 渠道库存
宝洁 法国亚眠	为了实现产品的更新换代，宝洁亚眠工厂曾多次对运营流程进行转型。这一次，他们积极拥抱第四次工业革命技术，依托数字孪生、数字化运营管理，以及仓库优化，仅用三年时间就让产量稳步提升30%，库存水平降低6%，设备综合效率提高10%，废品浪费减少40%。	用于远程生产优化的数字孪生	▼ 6% 库存
		将机器数据与企业软件连接	▼ 30% 客户投诉
		利用分析进行动态仓库资源规划	▲ 9.8% 按时交付
		数字工程	▲ 25% 产能
		利用高级分析优化物流	▼ 40% 包装材料

工厂	革新故事	五大用例	影响
宝洁 美国莱马	消费趋势的转变使产品包装变得愈发复杂，越来越多的产品需要外包。为了扭转这一趋势，宝洁莱马工厂投资打造了柔性供应链，利用数字孪生、高级分析和机器人自动化技术，成功使新品上市速度加快10倍，劳动生产效率同比提高5%，其库存补货速度也比竞争对手高一倍。	使用数字孪生进行柔性生产	▲ 900% 上市速度
		用于产品设计和测试的3D仿真/数字孪生	▼ 70% 产品开发
		机器人技术促进物流运营	▲ 100% 生产效率
		利用高级分析优化生产计划	▲ 95% 供需同步
		机器人技术促进物流运营	▼ 50% 工厂至仓库运输成本
ReNew Power 印度胡布利	面对资产的迅猛增长，以及后起之秀的竞争压力，印度最大的可再生能源公司ReNew Power开发了专有的高级分析和机器学习解决方案，这些第四次工业革命技术成功将其风能和太阳能资产的收益提高了2.2%，在不增加资本支出的情况下，将停机时间减少了31%，员工生产效率提高了31%。	用于风力涡轮机优化的高阶分析平台	▲ 1.35% 收益
		太阳能模组的预见性维护	▼ 40% 灰尘沉积导致的太阳能电池板效率损失
		用图像分析探测质量瑕疵	▼ 16% 停机时间
		风力涡轮机的预见性维护	▼ 30% 非计划维护
		用于太阳能发电厂优化的高阶分析平台	▲ 0.10% 收益
西门子 德国安贝格	为了提升生产效率，这家西门子工厂有条不紊地采用了一种精益数字管理方法。通过部署智能机器人、人工智能驱动的过程控制，以及预见性维护算法，它在不增加用电量或调整资源的前提下，不仅令产品复杂度加倍，还让工厂产出提升了140%。	机器人技术促进物流运营	▲ 50% 劳动效率
		数字工程	▼ 30% 工程措施
		人工智能驱动的过程控制	▲ 20% 半成品
		基于历史和传感器数据的预见性维护数据整合	▲ 13% 设备综合效率
		用于远程质量优化的高阶分析平台	▲ 13% 流程质量提升
STAR炼油厂 土耳其伊兹密尔	为了保持在欧洲炼油行业的领先地位，STAR伊兹密尔炼油厂的设计理念，就是成为“全世界技术最先进的炼油厂”。为了发展先进技术（如资产数字化绩效管理、数字孪生、机器学习）并提升组织能力，STAR 投入了逾7000万美元，成功将柴油和航空煤油产量增加了10%，维护成本降低了20%。	将机器数据与企业软件连接	▲ 67% 员工效率
		实时资产性能监控和可视化	▲ 2% 设备综合效率
		用于生产优化的数字孪生	▲ 23% 轻质催化瓦斯油产量
		可持续性的数字孪生	▼ 3% 年度二氧化碳排放吨数
		用于远程生产优化的高阶分析平台	▲ 2% 柴油产量
塔塔钢铁 印度贾姆谢德布尔	塔塔钢铁贾姆谢德布尔工厂拥有110年的历史，文化和技术底蕴十分深厚。由于运营关键绩效指标停滞不前，且原材料优势难以继，他们部署了多种第四次工业革命技术，例如，在采购中使用机器学习和高级分析技术，节省了4%的原材料成本；在生产和物流规划中使用规范性分析，将客户服务成本降低了21%。	通过价格预测实现敏捷购买	▼ 4% 采购成本
		数字化赋能的谈判	▲ 20% 全职等效生产效率
		利用高级分析优化生产计划	▼ 21% 服务成本
		用人工智能引导机器性能优化	▼ 50% 逸散排放
		物联网赋能的安全管理	100% 员工安全覆盖
青岛啤酒 中国青岛	面对消费者日益攀升的个性化、差异化和多元化需求，青岛啤酒采用了新型商业模式，在整个价值链上下游重新部署了智能数字化技术。这家拥有118年历史的老牌工厂将客制化订单和新品开发交付时间缩短了50%。进而使定制啤酒的占比增加到33%，营收也提高了14%。	大规模定制和B2C在线订购	▼99.5% 最低起订量
		数字化赋能的柔性制造	▼ 50% 交付时间
		需求预测	▲ 6% 设备综合效率
		大数据/人工智能赋能的产品设计和测试	▼ 50% 研发周期
		数字化跟踪和追溯	▲ 29% 材料再利用
纬创资通 中国昆山	为了彻底解决多种类、小批量业务带来的长期困扰，该工厂通过人工智能、物联网和柔性自动化技术，成功实现了劳动生产力、资产生产力和能源生产力的提升。在优化生产和物流的同时，该公司也加强了供应商管理，最终其制造成本成功降低了26%，能源消耗则降低了49%。	用机器人技术全面促进物流整合	▼ 20% 全管线库存水平
		数字工具来增强员工之间的互联	▲ 15% 生产线平衡优化
		数字供应商绩效管理	▲ 63% 材料处理效率
		用数字看板来监控OEE绩效	▲ 5% 设备综合效率
		通过预见性分析优化能源	▼ 49% 能源消耗

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

1.3 灯塔工厂作为行业典范，其成就远不止生产效率的提升

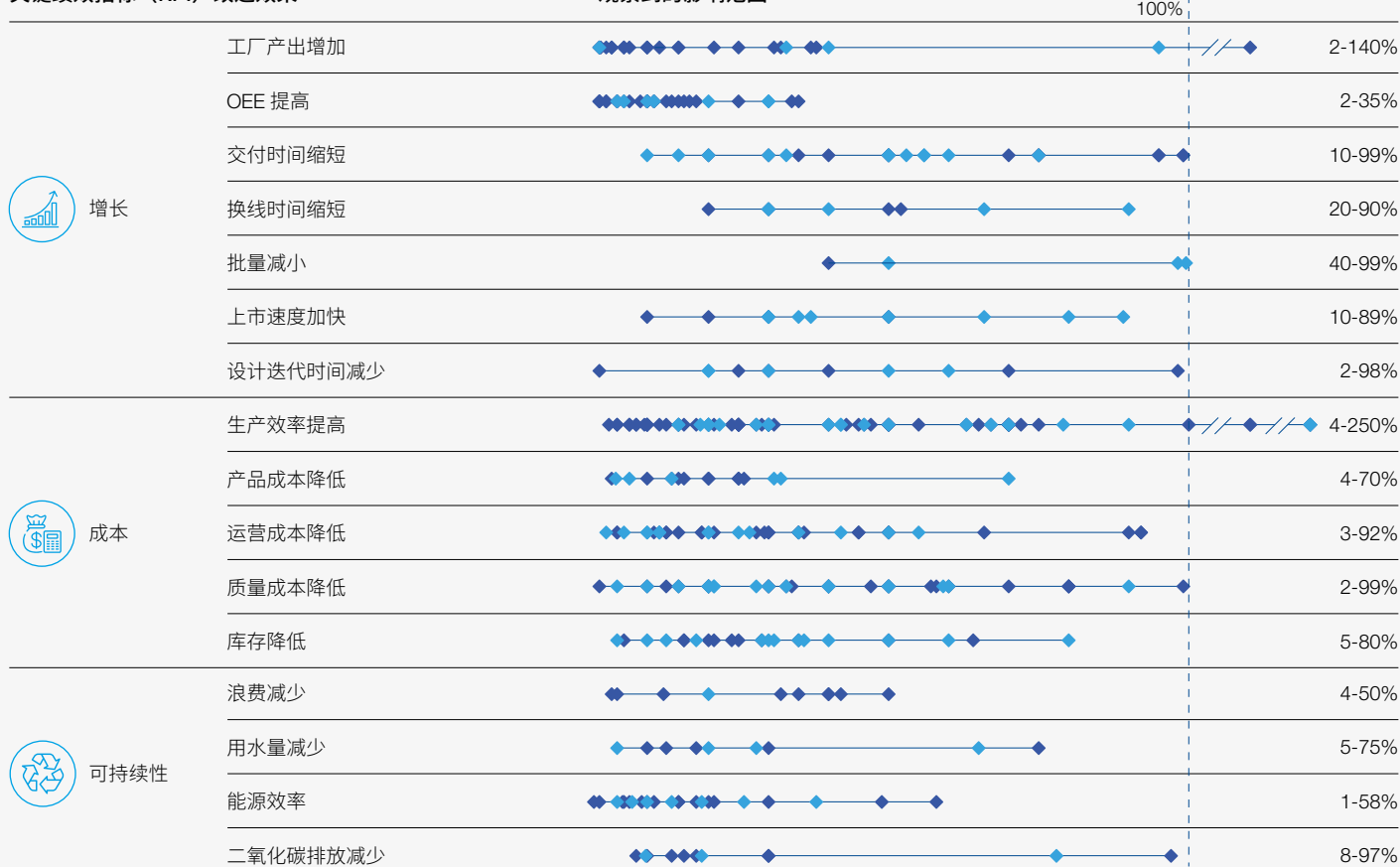
只需深窥灯塔工厂的成功用例便可发现，技术投资不仅带来了增长，也推动着组织在其他领域取得进步（见图6）。他们提升了工厂产出和设备综合效率（OEE），减少了产品成本、运营成本和质量成本。领先企业减少了二氧化碳排放、废物排放和水

资源消耗，提高了能源效率，向着更可持续的方向不断迈进。提升敏捷性后，他们减少了库存、缩短了交货时间和换线时间，加快了产品上市和设计迭代速度。最后，定制项目还带来了批量减小。

图6 灯塔工厂：突破生产效率局限，打造更敏捷、更“以人为本”的组织

关键绩效指标（KPI）改进效果

观察到的影响范围



资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

工厂 端到端

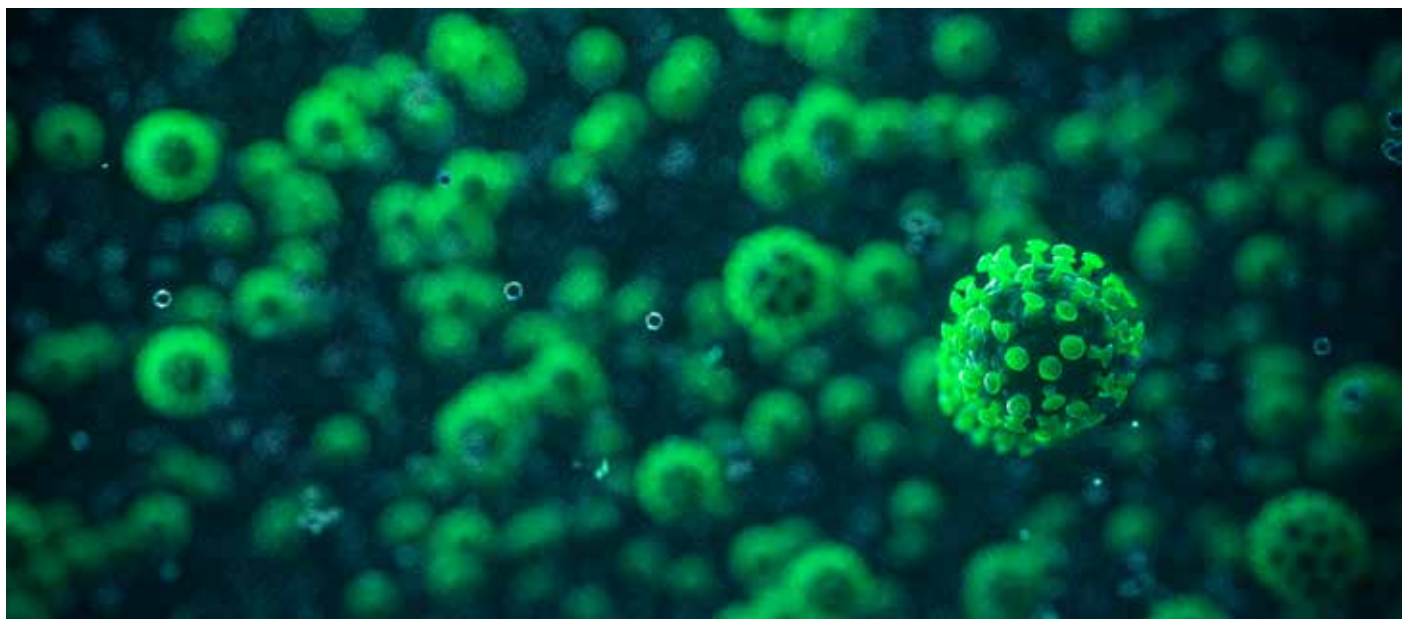
2

全球局势动荡带来独特 增长机遇



2020年，全球市场受疫情冲击，遭到严重破坏。但重重挑战蕴含着海量机遇，组织若能把握得当，便可实现增长，扩大份额。无论身处何种行业，企业只要果断行动，便能收益颇丰，制造企业也不例外。

外。企业必须同时追求量变与质变，不断推出新颖的客户体验，并打造敏捷能力，从而快速回应市场需求。



2.1 余震仍将持续

市场依旧充满不确定性。供需动态和客户期望仍将持续演变。速度和适应能力是保持竞争力的关键；企业必须找到价值扩展途径。为了实现这一目标，可扩展技术和柔性生产系统必不可少。

消费激增催生了意料之外的需求，进而使企业生产线承压。而高质量的数据分析则能帮助企业快速应对激增的需求。没有准确和及时的数据分析作支

撑，企业只会被动响应、犹豫不决，库存管理也会面临压力。与此同时，疫情暴发导致原材料供应受阻，供应链端波动会进而影响产品库存。消费者选择繁多、偏好定制化产品、渴望高水平服务等因素都令市场本身充满压力。

2.2 灯塔工厂照亮前程

数字化创新已逐渐成为企业的必经之路。市场环境日新月异，充满挑战，唯有大规模实现第四次工业革命创新的企业（能够灵活适应环境变化的企业）才能蓬勃发展，进而拉大领跑者与其他制造商之间的距离。灯塔工厂“勇者无畏”。他们决定充分挖掘第四次工业革命的潜力，在危机中把握机遇，推动增长，脱颖而出。

事实上，成为业内数字化先驱的一大前提，就是找到能够推动业务目标的可扩展技术。通过重构运营，增强韧性，灯塔工厂斩获了强有力的回报。即便市场日新月异，他们也能密切追踪市场供需的转变。部分公司因客户日益攀升的期望值，及高企的库存成本而止步，留下的市场空缺被其他公司积极填补。

3

灯塔工厂推动可持续增长



通过运营中融入数字化技术，灯塔工厂不仅成功提升了生产力，还为可持续的盈利增长奠定了基础。

通过在运营中融入数字化技术，灯塔工厂不仅成功提升了生产力，还为可持续的盈利增长奠定了基础。数字化设备和管理应用在工厂层面提高了产出和生产力。除此之外，还有两项因素也在推动增长的过程中发挥突出作用：一是采用新型商业模式，二是释放员工和生产流程的潜能。

新型商业模式

通过大规模部署第四次工业革命技术（见图7），灯塔工厂正在借助新型商业模式拓宽收入渠道。深入了解客户需求后，企业便可借助柔性制造系统进行定制化生产。简而言之，这些公司更加了解客户需求，也更能适应客户需求的变化。他们往往具备快速响应的能力，使其在其他企业“力不从心”时斩获市场份额。

凭借先进的消费者情报系统和一系列数字化工具，阿里巴巴迅犀成功实现了高度定制化设计和产品的高效交付，将最低起订量降低了98%（与行业平均水平相比）。青岛啤酒借助多个数字化工具，成功实现了小批量产品的高度定制，不仅将新品开发交付时间缩短了一半，还增加了营收。强生视力健（Johnson & Johnson Vision Care）基于移动端和电脑端平台，打造了一个高度个性化的端到端用户体验。该平台不仅实现了病人和专家、零售商和制造商之间的有效对接，还借助高级分析技术生成定制化订单，成功令新客户转化率达到了两位数。

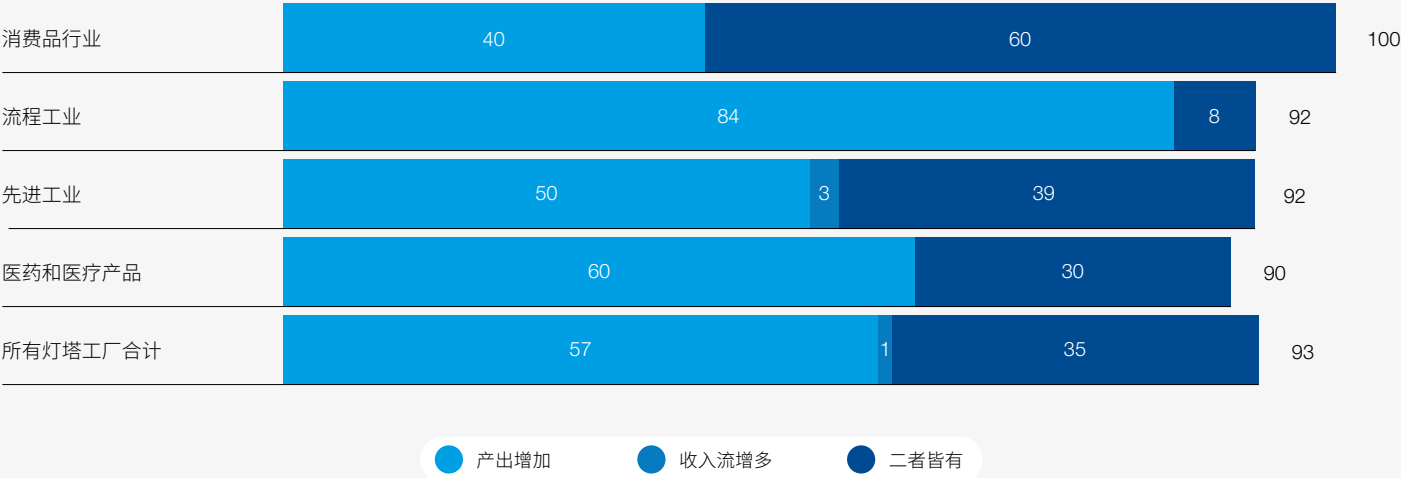
释放产能

第四次工业革命技术带来的生产力提升能够促进产量和销量的双重增长，进而帮助灯塔工厂释放更多潜能。新技术的部署在优化资源和基础设施的同时，也让劳动者的潜能得到了充分发挥。在释放潜能的过程中，企业没有为此投入高昂的成本，也没有对环境造成严重的负面影响。

诺和诺德（Novo Nordisk）在数字化调度和工作管理应用、生产流程优化、自动OEE监控和数字化绩效管理等方面多措并举，释放产能。博世（Bosch）部署了数字化换班绩效管理系统和自动送料系统，结合机器视觉驱动的生产周期和换线优化，在提升员工和机器产能的同时实现了降本增效。宝洁（Procter & Gamble）美国莱马工厂则借助数字孪生和高级分析技术，将产品上市速度提升了10倍。

图 7 灯塔工厂：低/零资本投入推动增长

第四次工业革命技术助力灯塔工厂实现增长
实现与增长相关的 KPI 的提升的灯塔工厂占比



资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

3.1 商业模式创新

领先组织明白，墨守成规只会桎梏增长。即便市场环境动荡不安，客户对定制化产品的需求也不容忽视。为此，他们视依托第四次工业革命技术的商业模式创新为第一要务，并相应收获了诸多重要优势，如深入了解购买行为和客户选择等。考虑到客户偏好日新月异，各不相同，组织唯有及时跟进，才能成为客户首选。他们深知大规模定制能力的重要性。通过创新转变其商业模式，组织能够“物尽其用”，以空前的速度推出定制化产品。

在第四次工业革命技术的帮助下，青岛啤酒成功转变其商业模式，实现业绩增长

青岛啤酒是中国第二大、全球第六大啤酒企业。面对消费者日益攀升的个性化、差异化和多元化需求，青岛啤酒采用了新型商业模式，在整个价值链上下游重新部署了智能数字化技术，从而实现了对客户体验、产品研制以及分销的优化（见图8）。

通过精准把握客户偏好，青岛啤酒实现了个性化营销。该公司推出了业内首个在线定制平台，为B2B和B2C销售渠道提供定制化包装。通过锁定影响产品流行度的主要元素，青岛啤酒在产品的定制能力上取得了重大突破。通过深入“刻画”每款产品，青岛啤酒得以实现按需开发。

在柔性生产模式与自动化质量管理的“双向加持”下，青岛啤酒快速灵活地实现了小批量生产。依托优化后的供应链规划体系，以及一流的供应链分析引擎，该公司成功提升了分销效率，缩短了交付时间。此外，人工智能驱动的端到端规划体系，也让青岛啤酒快速高效地满足了客户需求。

借助数字化赋能的柔性制造体系，青岛啤酒缩短了交付时间和生产调度时间。精准预判需求走向后，产品变化次数减少，OEE得以提升。得益于大规模定制和B2C在线订购，最低起订量降低了99.5%。通过加强对客户偏好的认知和响应能力，青岛啤酒不仅实现了真正意义上的增长，还提升了其品牌偏好度。





面对消费者日益攀升的个性化、差异化和多元化需求，青岛啤酒采用了新型商业模式，在整个价值链上下游重新部署了智能数字化技术。这家拥有 118 年历史的老牌工厂成功满足了客户需求。



案例研究：青岛啤酒



资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

3.2 释放产能

第四次工业革命技术释放的潜能可以促进产量和销量的双重增长，且成本合理。传统观点认为，要想实现可观增长，组织就必须大力扩建实体工厂和基础设施。但灯塔工厂提出了另一种方案：通过将先进的数字化工具与柔性生产系统相结合，领先企业在无需大量资本投入的情况下，也可以实现生产力提高。

第四次工业革命技术带来的OEE提升帮助诺和诺德释放产能

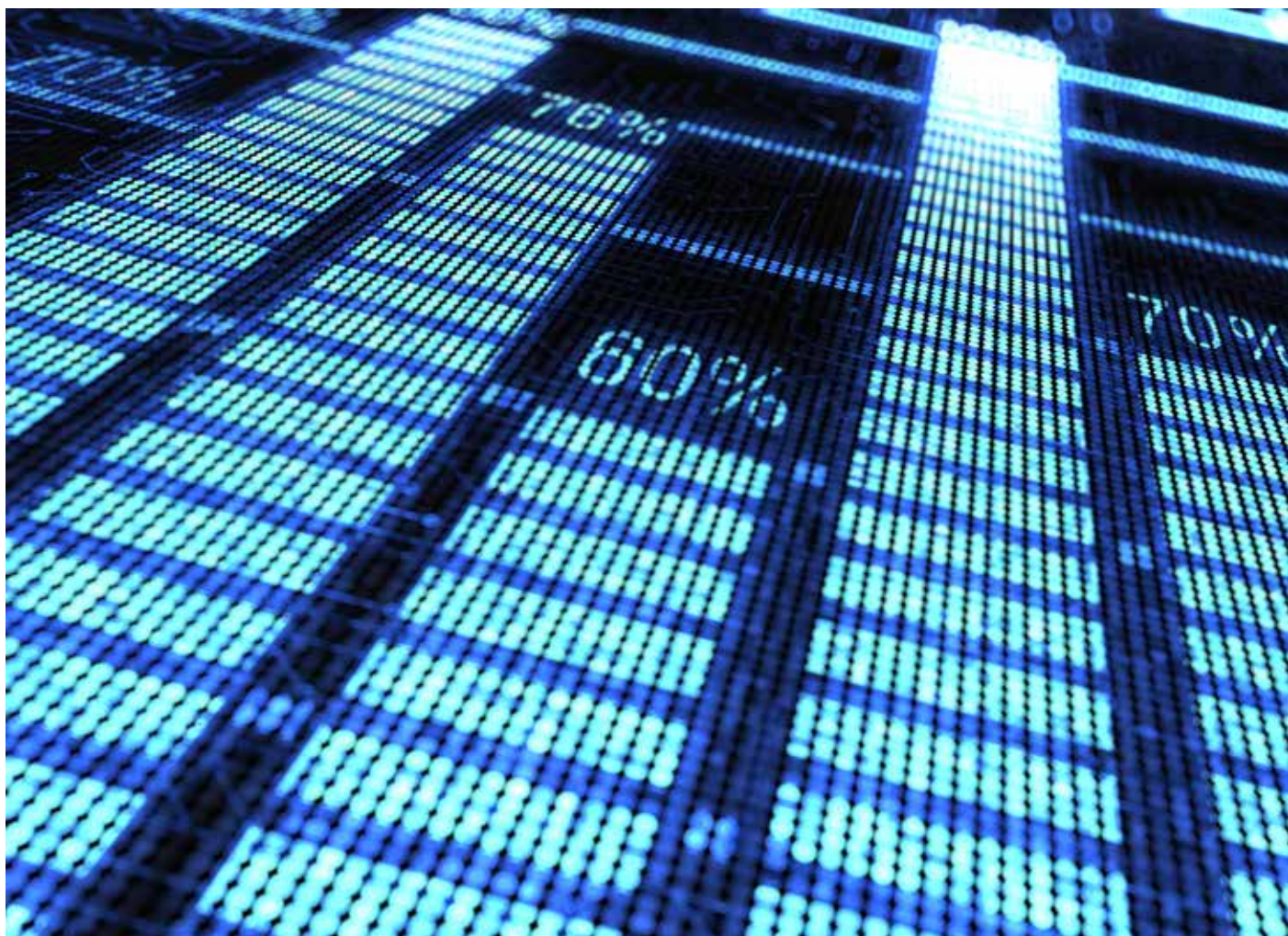
通过部署第四次工业革命技术，诺和诺德成功提高了OEE，进而释放了产能（见图9）。这家位于希勒勒（Hillerød）的工厂为该公司内外生产网络树立了典范。借助高级分析技术、一流的数据工程，以及用于解决日常车间运营问题的软件应用，诺和诺德成功实现了运营优化。

数字化技术有助于优化绩效管理。OEE数据收集系统可以在几乎无人干预的前提下，记录和归类所

有绩效损失。与此同时，设备之间的互联互通和数字绩效看板可以实时为员工提供数据。对系统设置进行自动化测试能够缩短停机时间，而基于机器学习技术的系统则能实现设置最优，跟踪变化，并提供分析。

实时跟踪能使规划体系深入每一个细节，提升系统的调度能力；与此同时，机器、操作员和技术员端的输入则能优化整个生产规划。基于此，资产和资源得以实现最优分配和调度，避免资产规划运行期间的资源浪费。此外，系统还能实时跟踪生产进程，在出现异常时发出警报。第四次工业革命技术能够显著改善工作体验，其中一大表现，就是一线员工开始直接参与数字应用的开发。

第四次工业革命转型影响深远，横跨十个IT系统及三大数据平台。它不仅能提高生产线的OEE，减少非计划停机，提高员工效率，还能创造新的数字工作岗位。





诺和诺德希勒勒工厂借助第四次工业革命技术释放产能，为组织生产网络树立了典范。该工厂借助高阶分析、数据工程和生产现场管理应用、生产线流程优化、自动 OEE 监控和数字化绩效管理等多方面举措，在整个生产网络中实现实时决策。



基于最快的可重复生产周期制定数字化小时生产计划；

- 包括机器、操作员、技术员
- 实现动态更新和优化
- 用于实时跟踪和待处理事件可视化

优化分配和调度，避免资产规划运行期间的资源浪费。

实时跟踪生产进度，发现偏差时发出警报



用高级算法对生产线上数百个可调节的设置进行测试，根据具体影响缩短停机时间

- 用机器学习为每个操作台创建一个统计孪生，并预测哪种设置组合对这些操作台效果最好
- 使用一个应用程序跟踪机器设置的变化，对最佳设置点进行可视化处理，并分析设置变化的根本原因



- 部署一套 OEE 数据收集系统，在尽可能减少人为干预的情况下，对所有绩效损失进行记录和分类

- 通过设备网联技术获取实时生产线数据，为主管和维修人员建立数字化绩效看板和基于趋势的通知系统



- 一线员工针对日常管理任务在移动设备上开发数字应用，记录并有效发现和解决生产车间问题

- 高效益应用：交接班、升级、流程确认、问题解决、每周停机维护、优化机器设置

案例研究：诺和诺德



影响

10 ↑
百分点
生产线 OEE
提高

40-85%

非计划停机减少

10-20%

员工效率提升

>10

掌握新的数字
和分析能力的
新角色

10+

3 个数据平台连
接 10 个不同的
IT 系统

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

3.3 实现可持续增长

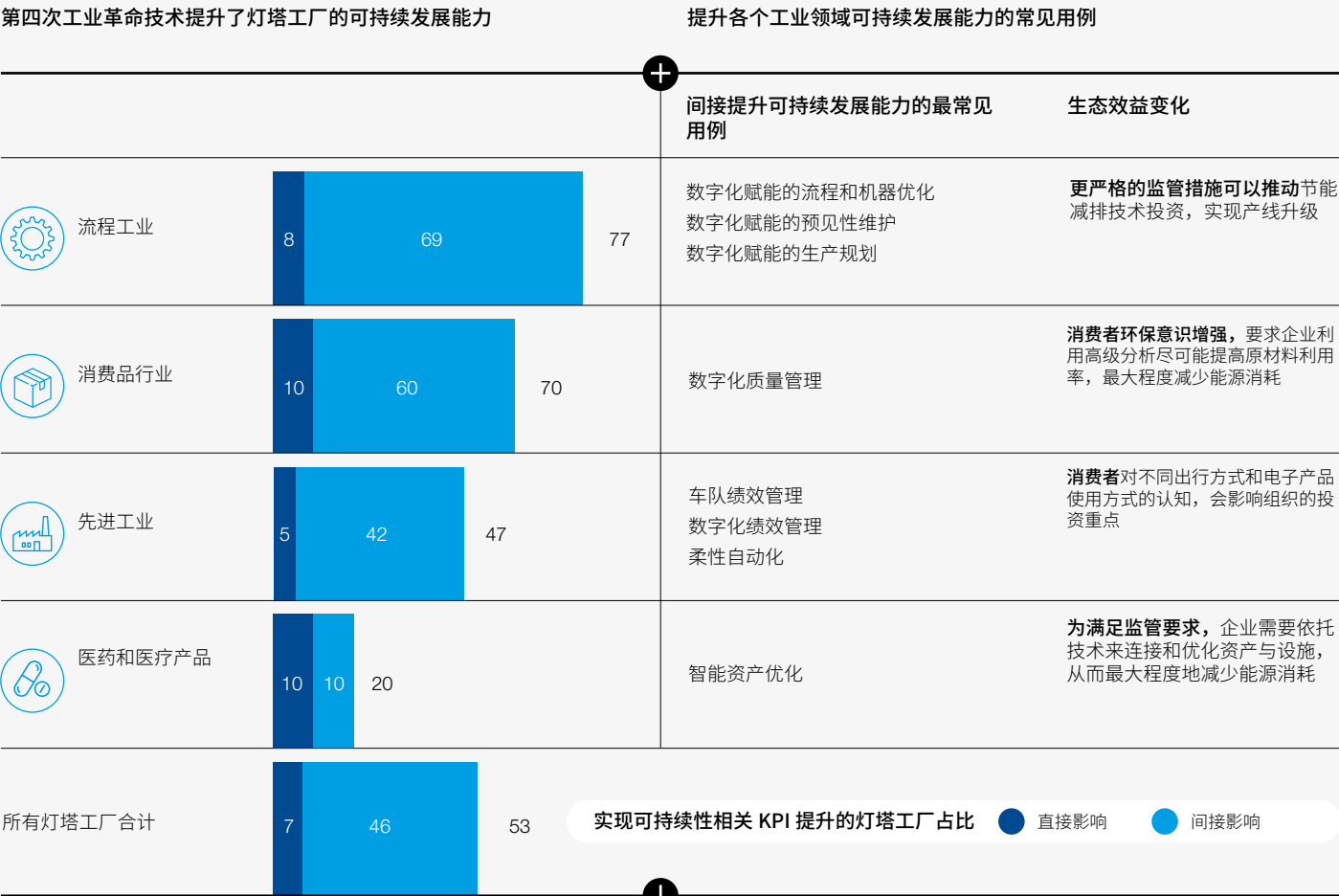
传统观念认为，企业若想提升生产力和盈利能力，只能以牺牲环境为代价。但是，领先企业却在提高生产力的同时，改进资源使用效率，进而促进了环境保护。事实上，许多措施在提高生产力的同时，也在提升资源使用效率，促进绿色发展。深知并秉持这一理念的企业正在斩获双重效益：降低成本，提升可持续发展能力。

绝大多数灯塔工厂都在借助第四次工业革命技术提升可持续发展能力（见图10）。虽然此前可持续性的提升几乎都是第四次工业革命转型中的“无心插

柳”，但企业开始更多关注专项环保举措，如减碳和节水等。两种举措的结合大大提振了行业信心。数字化赋能的流程和机器优化、预见性维护、生产规划等用例能够提升资源使用效率，进而改进生态效益（生态效益是2020年9月发布的白皮书《全球灯塔网络：四大持久转变助力制造业实现大规模重建》（[Global Lighthouse Network: Four Durable Shifts for a Great Reset in Manufacturing](#)）中提出的一大持久转变）；与此同时，减排和其他环保措施也能推动清洁生产。

图 10 生产效率、增长和可持续发展：第四次工业革命技术能够提高能源使用效率，减少资源消耗

53% 的灯塔工厂正利用第四次工业革命技术提升其可持续发展能力



提升可持续发展能力的意义

为了提升整个运营体系的可持续发展能力，某些工业领域（如流程工业）落实了多项举措。这是因为许多第四次工业革命技术都着眼于通过流程改进实现增产节能。提升快速消费品公司的质量管理水平有助于减少浪费，并避免环境破坏。企业采取了诸多与车队绩效和直接生产有关的举措，通过提高整体效率降低资源消耗量。

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

汉高提升了整个生产网络的可持续发展能力

为了实现到2025年将碳足迹减少65%的目标，并鼓励同行的加入，汉高（Henkel）在整个生产网络中部署了第四次工业革命技术（见图11）。借助数字孪生技术，该公司连接并对标了全球30多家工厂，每天，其数百个在线效率系统和数千个传感器都会收集100多万万个数据点。这种实时数据监控带来了全新的对标方式。

上述项目直接提升了汉高的可持续发展能力。借助数字孪生技术，该公司模拟了一个高能耗的洗衣过程（喷雾干燥），并扩展到整个公司层面的生产网络中。同样，基于一套机器学习驱动的“专家系统”，操作员能够找到最优工作方式，进而使整个生产网络获益。

间接益处同样数不胜数。比如，有了“从源头到餐桌”机制后，产品不再需要使用标签；缩短创新周期后，产品将不容易过时。与此同时，数字孪生持续跟踪产品数据，不断提升产品的更可持续性，以及安全性。最后，依托车间网联技术驱动的应用，工厂可以实现远程规划和远程监控，进而减少纸张消耗。

基于其数字化IT后台，汉高扩展了第四次工业革命技术，将整个蒙托内斯（Montornès）工厂的网络和实体系统连接起来，降低了成本，加快了产品上市速度，减少了碳足迹。这些举措还对整个运营过程产生了可观影响，包括减少废弃物、总能耗、二氧化碳排放和用水量等。





为了实现到 2025 年将碳足迹减少 65% 的目标，并鼓励同行的加入，汉高（Henkel）在整个生产网络中部署了第四次工业革命技术，并通过实时数据获取和反馈在公司内部重设全球基准。

数字孪生



连接和基准

>30 家工厂（全球工厂都已实现互联互通）

- 250 套在线效率系统
- 3500 个传感器
- 每天 100 多万个数据点

反馈 + 实时数据监控为各个工厂带来了全新的**对标方式**

基于云端的数字孪生可以重建运营过程，**制定可持续的安全措施**

通过预见性分析优化能源



数字化高能耗流程

借助数字孪生技术，该公司模拟了一个高能耗的洗衣过程（喷雾干燥），并扩展到整个公司层面的生产网络中。

机器学习从整个生产网络中获取洞见，为操作员带来最佳操作 / 方法

借助专家系统识别偏离最佳操作点的行为

其他改善可持续性的用例



“从源头到餐桌”的可追溯性

二维码的使用令产品不再需要标签，缩短创新周期，实现产品永不过时

数字孪生持续跟踪产品数据，不断提升产品的更可持续性，以及安全性。

生产车间连接性

简单易用的应用可以取代纸张，实现远程规划和远程监控。

案例研究：汉高



影响

70%

车间生产流程中用纸量减少

35%

总浪费减少

16%

总能耗减少

10%

二氧化碳排放量减少

4%

总用水量减少

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司；汉高气候保护战略和目标。

在第四次工业革命技术的帮助下，强生一家碳中和工厂完成了减排的最后一步

将先进的控制举措与绿色基础设施相结合后，位于瑞典赫尔辛堡（Helsingborg）的强生消费者保健（Johnson & Johnson Consumer Health）工厂成功减少了能源消耗，成为该公司第一家碳中和工厂（见图12），赢得了政府的大力称赞。

组织在推广绿色技术的同时，也需要升级自身硬件设施；该工厂通过使用沼气，开始了向可再生能源的转型；此外，他们还汇集市政部门和供应商力量，提升自己的可持续发展能力。为了实现全面脱碳，该工厂在传统环保举措之上，叠加了第四次工业革命技术，从而对企业的可持续发展能力产生了直接和间接影响。这也从侧面证明，第四次工业革命创新技术，以及这些技术驱动的敏捷工作模式，能够共同协助组织达成目标。

一方面，该工厂借助自动化系统和传感器对能源进行智能管理；另一方面，他们推出了高效的生产举措，以加快上市速度、降低劳动力成本，并减少资源消耗。他们在依托机器人应用提高OEE的同时，借助数字孪生产品开发技术，简化了供应链，降低了产品成本。

这种方法降低了工厂能耗，其中，第四次工业革命技术的贡献率约占20%。该工厂实现了碳中和，将二氧化碳排放彻底清零。2010~2017年，二氧化碳排放量从5000吨降至0，自那之后，该工厂始终保持碳中和的状态。

图 12 强生：利用第四次工业革命技术打造碳中和工厂，完成减排最后一步



将先进的控制举措与绿色基础设施相结合后，位于瑞典的强生消费者保健工厂成功减少了能源消耗，成为该公司第一家碳中和工厂。



传统绿色技术项目

更新硬件设施

- 基于液氮的免费冷却系统
- 热回收和效率系统
- LED 照明

通过使用沼气转向可再生资源

与市政部门和供应商合作，支持可持续发展



第四次工业革命技术实现碳中和

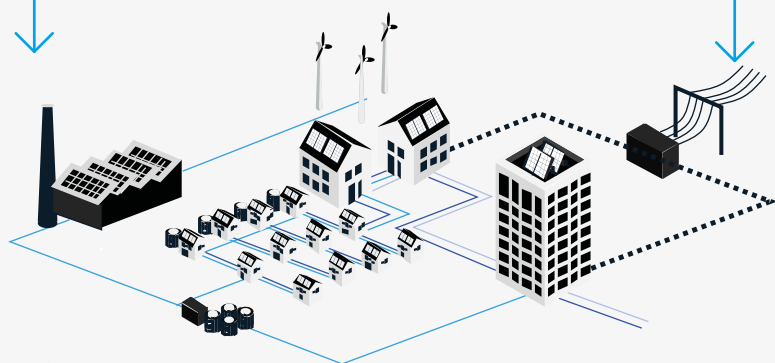
直接影响：解决碳中和

- 将智能能源管理与工厂的自动化系统和传感器相整合

间接影响：提高生产流程的效率，用更少的资源生产更多产品

- 机器人应用令 OEE 提高了 14%

- 数字孪生产品开发通过简化供应链将产品成本降低了 20%



案例研究：强生



影响

25%

能耗减少

18%

第四次工业革命
技术直接带来的
能耗减少

5000 吨

年度二氧化碳排
放量

降至

0

2010 ~ 2017 年

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

4

大规模扩展第四次工业革命创新



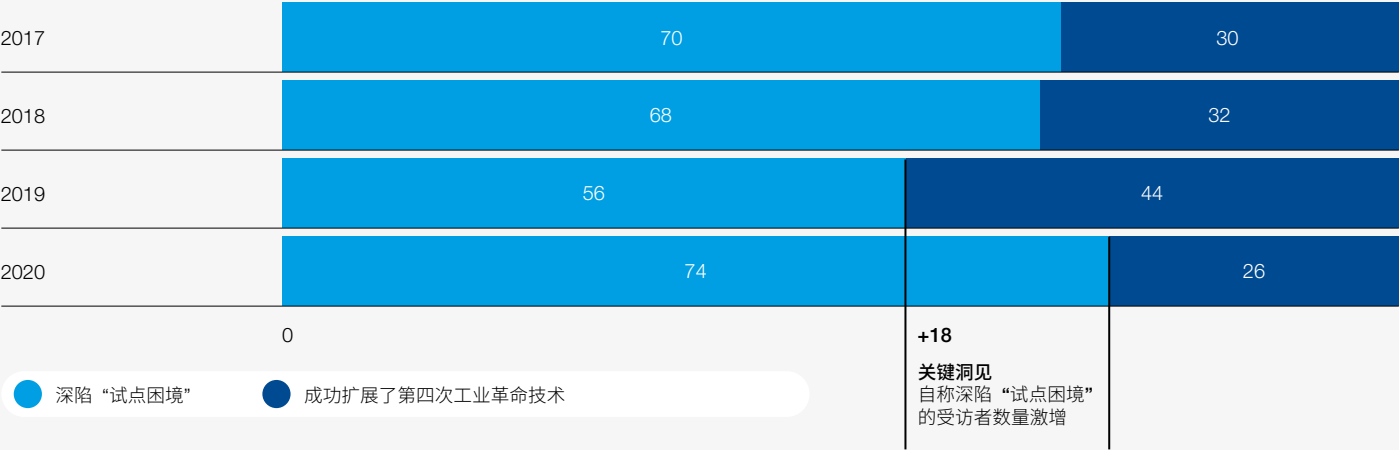
灯塔工厂在新冠疫情暴发前后取得的成就足以证明：大规模整合第四次工业革命创新是企业长期发展的核心要素。一些企业甚至打通了端到端价值链，将第四次工业革命创新拓展到实体工厂范畴之外。这使不少组织相形见绌：麦肯锡于2020年末进行的一项调查显示，约有74%的全球制造企业自称深陷“试点困境”（见图13）。

事实证明，规模化的标准已经发生变化，且远比最初的预想具有挑战性。经历了市场波动与扰乱带来的压力测试后，企业也逐渐发现，此前的工业投资并没有带来计划中的规模化扩张。面对动荡不安的市场，26%的领先企业如何成功实现了大规模扩张？归根结底有两大秘诀：一是打造敏捷工作模式，二是提升员工能力技能。

图 13 大规模推广第四次工业革命技术（2017~2020）：比最初的预想更具挑战性

问卷问题

自称已经在多个地点成功部署了多个第四次工业革命用例的受访者占比（受访者共 402 人）



2020 年，有更多受访者感觉深陷“试点困境”

第四次工业革命技术发展的三年趋势图表明，这一趋势在 2020 年出现逆转。

经历了市场波动与扰乱带来的压力测试后，企业也逐渐发现，此前的工业投资并没有带来计划中的规模化扩张。

资料来源：麦肯锡公司，[《全球制造业工业4.0年度调查》](#)。

敏捷工作模式是企业成功扩展的核心。为了充分发挥第四次工业革命技术在生产网络和供应链中的潜力，企业必须基于敏捷原则，在迭代中进行创新和转型。这样企业就能以协作的方式快速应对变化，提前预判技术的局限性，并快速突破局限。灯塔工厂坚持快速迭代、快速试错、持续学习，并以两周为周期开发最小可行性产品。同样的原则也适用于以月为周期的捆绑用例，从而分阶段快速推动转型。上述敏捷模式与以年为计算单位的传统试点项目形成鲜明对比。传统试点项目追求完美，但由于技术创新的更新速度过快，试点项目往往完成后便面临淘汰。

员工如果没有掌握第四次工业革命所需的必备技能，敏捷工作模式就无法充分发挥其潜力。第四次工业革命技术的部署会为员工职责带来诸多改变，而企业唯有真正理解“以人为本”的重要性，才能在转型中取得不俗成绩。对劳动者采用阶梯式技能提升策略，能够确保劳动力始终与转型保持紧密联系，并直接参与到转型的进程中。此外，该策略还能帮助员工掌握未来创新所需的专业技能。

4.1 打造敏捷工作模式，推动规模化发展

领先企业已经充分依托敏捷工作模式，在生产网络和价值链上迅速扩展了第四次工业革命解决方案，从而实现了前所未有的可持续增长（见图14）。通过提升运营过程的灵活性和适应性，灯塔工厂极大地鼓励了思维模式创新和动态工作方法。这样一来，他们便能密切追踪市场供需和客户期望的转变。

这种增长正在超越单一工厂的局限，在整个生产网络和价值链得以扩展。这一点从拥有灯塔工厂的企业数量变化上便可见一斑：2018~2021年，在先进工业、包装消费品、医药产品和流程工业等领域，拥有灯塔工厂的企业数量从9家增长到36家，足足翻了两番。上述企业正在通过自身转型来重构整个行业的生产网络和价值链。

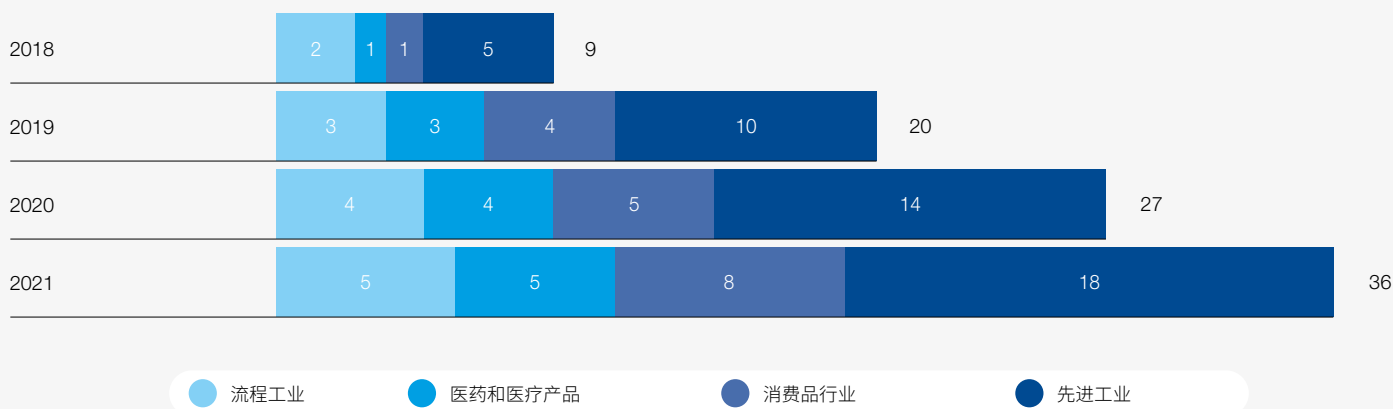
通过提升生产网络能力和饱和度的透明度，再辅以动态的生产网络场景规划，领先企业可以灵活应对因客户偏好改变而产生的需求变化，如引入新品类，或实现高水平的定制化生产等。在此过程中，企业也能够锻炼他们应对供应链中断、分销渠道受阻，或是工厂关闭等意外事件的能力。敏捷是优秀组织的代名词，它意味着组织可以在不牺牲质量的情况下提高速度和灵活性。

灯塔工厂还在致力于提升生产网络的透明度和可追溯性。通过在整个价值链共享数据模型，他们可以在兑现可持续发展承诺的同时，为消费者提供有关产品来源、成分和二氧化碳足迹的洞见，帮助消费者进行购买决策。

考虑到某些企业的生产网络较为分散，如果只在某一家工厂部署第四次工业革命技术，企业并不会看到积极效益。因此，企业可以选择在各个工厂快速规模化部署数字化解决方案和数字化能力，从而快速突破整个生产网络面临的生产瓶颈，并提升单个工厂的生产力。通过在生产网络层面协调推广第四次工业革命技术和智能工作模式，领先公司成功实现了技术赋能。各个工厂在提升自身敏捷度与能力的同时，还会与其他工厂彼此鼓励，相互促进，最终实现多赢。



拥有两家以上灯塔的企业数量 2018-2021



资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

企业在整个生产网络和供应链端重构自身的主要方式

通过提升生产网络能力和产能的透明度，再辅以动态的生产网络场景规划，领先企业可以……

提升生产网络的透明度和可追溯性（如在整个价值链共享数据模型），企业便可……

考虑到某些企业的生产网络较为分散，如果只在某一家工厂部署第四次工业革命技术，企业并不会看到积极效益。因此，企业可以选择在各大工厂快速规模化部署数字化解决方案和数字化能力，从而……

主要效益

……灵活应对因客户偏好改变而产生的需求变化，如引入新品类，或实现高水平的定制化生产等。

……在此过程中，企业也能够锻炼他们应对供应链中断、分销渠道受阻，或是工厂关闭等意外事件的能力。

……管理生产和供应链，在兑现可持续发展承诺的同时

……，为消费者提供有关产品来源、成分和二氧化碳足迹的洞见，帮助消费者进行购买决策

……快速突破整个生产网络面临的生产瓶颈（以应对需求变化等问题）

……并提升单个工厂的生产力

爱立信依托敏捷工作模式快速创造价值：16周内部署了3个用例

为了更加贴近客户，持续满足他们对5G服务的需求（见图15），爱立信（Ericsson）以空前的速度在美国打造了一家5G赋能的数字原生工厂。凭借敏捷工作模式、强大的工业物联网架构，以及数据基础，该工厂在12个月内成功部署了25个用例，其中有3个仅耗时短短16个星期就部署完成。爱立信甄选了80多个改造端到端运营所需的数字化用例，并制定了发展和采购策略。他们借助捆绑用例路线图来进行快速的设计迭代，并依托工业物联网技术实现快速反馈，所有工作被均匀分配到6个冲刺阶段中。

爱立信在最小可行产品阶段推出了7个用例。项目伊始，他们锁定了顺利部署用例所需开发或购买的能力，接着便携手工业物联网供应商，在提高劳动者技能水平的同时，专注于解决问题并开发新设计。为了支持这些新用例，爱立信调整了自身的组织架构，并不断精简团队，部署人才。上述举措帮助爱立信提高了员工平均产出，减少了人为材料处理工作，在此基础上，一体化的环保系统减少了能耗、用水量和二氧化碳排放量。

图 15 爱立信：依托敏捷工作模式快速创造价值——16周内部署3个用例



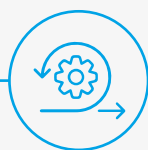
为了更加贴近客户，持续满足他们对 5G 服务的需求，爱立信以空前的速度在美国打造了一家 5G 赋能的数字原生工厂。凭借敏捷工作模式、强大的工业物联网架构，以及数据基础，该工厂在 12 个月内成功部署了 25 个用例。



捆绑多个用例

甄选 80 个数字化用例来改造端到端运营

制定战略来发展或采购所有用例



快速设计迭代

制定路线图，详细说明前 12 个月内该如何部署 25 个用例

与工业物联网供应商共同建立快速反馈机制

根据相互关系及中间交付成果，把工作分配到 6 个冲刺阶段中



最小可行产品实施

在最小可行产品阶段部署 7 个用例

在早期确定顺利部署用例所需开发或购买的能力

与供应商合作，在提高劳动者技能水平的同时，专注于解决问题并开发新设计



扩展

为了支持这些新用例，爱立信调整了自身的组织架构

并不断精简团队，部署人才

案例研究：爱立信



影响

16 周交付
3 个用例

1 年 25 个用例

120%

全职等效单位产出
增加

75%

交付时间缩短

50%

库存降低

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

施耐德电气在全球五大工厂推广第四次工业革命用例

施耐德电气（Schneider Electric）于2017年开始在五大工厂部署第四次工业革命战略，目前足迹已遍布80多座互联互通的工厂（见图16）。从三家单个生产场所灯塔和两家端到端灯塔中，可以看到很多职能层面的数字化用例。施耐德电气打造了一个数字化转型办公室，组织内外人才在敏捷工作模式下，制定整个组织的转型路线图，整理用例的优先顺序，并在整个运营网络中推广用例。公司因此获得了一个“秘密武器”：一项由上而下的第四次工业革命全球化数字战略。

标准IT/运营技术平台是快速推动第四次工业革命战略横向部署的基础，这有助于在推广数字化战略的过程中，为整个组织提供转型路线图，避免延迟和瓶颈的出现。员工培养是几乎所有第四次工业革命创新的关键；因此，施耐德成立了专门培养员工能力的“数字学院”。从基础设施和技术到运营模式与技能提升，组织上下每一个环节都在经历第四次工业革命转型。这一过程离不开每一位员工的倾情参与。该公司还提高了劳动生产效率，在向客户按时足量交付的同时，降低了报废成本，并减少了二氧化碳排放和总能耗。

图 16 施耐德电气：在80多个互联互通的工厂部署第四次工业革命技术（2017年只有5个）



通过将原本用于数字化灯塔工厂中的方法大规模应用到整个生产网络，施耐德成功推广了第四次工业革命技术。

推动扩展的关键因素

- 打造一个数字化转型办公室，以敏捷工作方式让公司内外人才合作共事：
 - 明确整个网络运营模式中用例的优先顺序和发展方式
 - 制定转型路线图
- 制定自上而下的全球数字化战略（定制化、可持续化、网联化）
- 建设数字学院，进行能力建设和培养
- 用标准 IT/ 运营技术平台驱动更快的横向部署
- 用深入人心的变革故事吸引公司各级人员参与

	单个生产场所灯塔			端到端灯塔	
职能层面的用例	印度尼西亚 巴淡岛	法国 勒沃德勒伊	美国 列克星敦	中国 武汉	墨西哥 蒙特雷
端到端规划和调度		✓	✓	✓	
数字化绩效管理	✓	✓	✓	✓	✓
数字化 / 分析化能源管理		✓	✓	✓	✓
数字化维护和报废减少	✓	✓	✓		
自动化和技术赋能的一线员工		✓		✓	✓

案例研究：施耐德电气



影响

40%

报废成本降低

25-40%

客户按时足量交付增加

10-26%

总能耗减少

40-78%

二氧化碳排放量减少

75%

劳动生产效率提高

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

4.2 大力培养和提升员工技能

● 灯塔工厂深知，员工技能提升是采用敏捷工作模式和充分释放数字化转型潜力的关键，因此，他们始终将员工培养列为重点工作。

员工的重要性不言而喻：灯塔工厂深知，员工技能提升是采用敏捷工作模式和充分释放数字化转型潜力的关键，因此，他们始终将员工培养列为重点工作。培训、再培训和技能提升等举措能够帮助员工适应并融入第四次工业革命。通过坚持以人为本，灯塔工厂在推动第四次工业革命转型的过程中始终关注包容性增长，鼓励各级员工都参与到行业的重构中，共同打造一个富有创新力和创造力的未来。规模化增长需要团队的力量，而团队则离不开每一位员工的贡献。

西门子根据第四次工业革命发展要求，量身定制员工技能发展

为了提升生产效率，西门子德国安贝格工厂有条不紊地采用了一种精益数字管理方法；它在不增加用电量或调整资源的前提下，不仅令产品复杂度加倍，还让工厂产出提升了140%在提高生产效率的过程中，西门子还根据每名员工特点，量身定制了技能提升计划。

他们用机器人技术改善物流运营、提高劳动效率；用数字工程优化了各项措施；用人工智能驱动的过程控制加快了工作进度；用预见性维护系统提高了OEE，并用远程质量优化分析平台改善了流程质量。西门子深知，技能提升是充分释放第四次工业革命潜力的关键。为此，西门子基于第四次工业革命发展要求，为每位员工量身定制了技能提升路径（见图17）。与惠普一样（如下文所述），为了提升员工技能，西门子在高校合作、内部培训和针对性培训上“三管齐下”。

惠普借助第四次工业革命优化举措，成功提升员工技能，减轻工作负担

惠普（HP Inc.）新加坡工厂的第四次工业革命之旅以提升员工技能为重点。产品日趋复杂，劳动力却供不应求，这使惠普新加坡工厂在质量和成本方面挑战重重。此外，国家层面也在强调高价值制造业的重要性，因此，惠普踏上了第四次工业革命之旅，一改被动的劳动力密集型模式，成为人工智能驱动的高度数字化模式。从人为操作转向自动化后，惠普成功降低了制造成本，提升了生产效率和质量。

第四次工业革命优化举措大大减轻了员工负担，给予员工更多时间和空间来提升自身技能（见图17）。例如，操作员摇身成为技术专家，开始得心应手地处理复杂任务，其他员工职责也相应发生转变。与西门子类似，惠普通过高校合作、内部培训、针对性培训“三管齐下”完成转型。



考虑到第四次工业革命引入了全新的工作方式，员工技能提升是充分释放数字化转型潜力的关键。为了简明扼要地阐述两大方法，我们绘制了西门子个人框架和惠普团队框架。

基于第四次工业革命发展要求，为每位员工量身定制技能提升路径

西门子，安贝格

技能提升路径根据职位要求制定，所需的关键技术和能力要求都被纳入考量



职位要求（举例）
组装工人

技能领域

第四次工业革命技能示例 (能力要求)

●●● 全部

数字化环境中的韧性（熟知）

●●● 基础
●●● 知识

网络安全（熟知）

●●● 专家

云计算（了解即可）

通过任务转移提高劳动者技能

惠普，新加坡

第四次工业革命优化举措大大减轻了员工负担，给予员工更多时间和空间来提升自身技能

不同角色的任务时间分配

● 优化的任务 ● 转移的任务 ● 新任务

之前

之后



操作员摇身成为技能专家，开始从事之前技术专员从事的复杂工作



技术专员通过肩负部分工程职责来提升技能



因此，工程师可以腾出更多时间习得更高的技能，并承担数据科学方面的工作

关键共性



与高校合作提供高级学习项目和学位支持



借助内部培训和讨论平台开展内部学习



用针对性培训培养一支数字化赋能的员工队伍

5

行动呼吁： 照亮更远的路



5.1 | 扩展灯塔之光

成立之初至今，全球灯塔网络项目见证了第四次工业革命技术的持续迭代。领军企业的第四次工业革命之旅，往往始于实体工厂的大规模用例部署，后来，一些企业又打通了端到端价值链，将第四次工业革命创新拓展到实体工厂范畴之外。但这一旅程远没有结束。如今，领军企业正在进一步推广第四次工业革命技术。这一次，他们的目标是整个组织。这种自然迭代是第四次工业革命的核心，即，第四次工业革命转型会在企业恢弘的工业版图上稳步延伸。

对已然成功大规模部署第四次工业革命技术的组织而言，这种广度和深度既是理想，也是愿景。通常来说，企业必须在这三方面部署第四次工业革命技术：生产网络、端到端价值链、支持性职能（见图18）。生产网络是指在公司旗下所有制造工厂中成功推广第四次工业革命技术。端到端价值链则涵盖产品开发、规划、交付、供应网络和客户连接性。其后，便是延伸到人力资源、财务和IT等支持职能。

图 18 在全公司范围扩展第四次工业革命应用

第四次工业革命技术被广泛应用到整个生产网络、端到端价值链，以及支持性职能中，推动组织层面不断转型。这也基本确定了用例的演变方向。



类别	定义
生产网络	公司旗下所有工厂
端到端价值链	端到端产品开发、规划、交付、供应网络和客户连接性
支持性职能	人力资源、财务、IT 等职能部门

资料来源：世界经济论坛和麦肯锡公司。

5.2 助力其他企业部署第四次工业革命技术

旨在大规模部署第四次工业革命技术的企业，都希望推动组织整体层面的转型，在一个技术赋能的未来，成为真正的领导者。在这一赛道上，灯塔工厂

的强光将照亮制造业的新格局，引领其他企业乘第四次工业革命之东风，充分释放自身潜力。

5.3 加入全球灯塔网络

全球灯塔网络仍在扩容，欢迎领先企业申请加入。我们诚挚邀请有远见的优质企业通过电子邮件了解详情：LighthouseNetwork@weforum.org。



贡献者

世界经济论坛谨向参与制作本白皮书的项目团队成员表示感谢。

项目团队

世界经济论坛

Francisco Betti

“塑造先进制造与生产的未来”项目负责人

Yves Giraud

麦肯锡资深专家，挂职于世界经济论坛

Franco Manna

强生项目创新总监，挂职于世界经济论坛

Federico Torti

先进制造与生产项目主管

麦肯锡

Enno de Boer

全球董事合伙人，未来生产项目技术和创新负责人

Matt DeVivo

咨询顾问

Katy George

全球资深董事合伙人

Dinu de Kroon

全球董事合伙人

Magnus Larsson

项目经理

Wouter Lion

咨询顾问

Jessica Menzel

研究专员

Tyler Smith

项目经理

Ken Somers

全球董事合伙人

项目团队感谢外部作者和编辑顾问

Paul Cumbo为白皮书提供的支持。



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界经济论坛是推动公私合作的国际机构，致力于改善世界状况。

论坛汇聚政界、商界等社会各界重要领袖，共同制定全球、区域和行业议程。

世界经济论坛
91–93 route de la Capite
CH-1223 Cologny/Geneva
Switzerland (瑞士日内瓦)
电话: +41 (0) 22 869 1212
传真: +41 (0) 22 786 2744
邮箱: contact@weforum.org
网址: www.weforum.org